

551,981

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
28. Oktober 2004 (28.10.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/092547 A2

(51) Internationale Patentklassifikation⁷:

F01K

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/000692

(22) Internationales Anmeldedatum:

2. April 2004 (02.04.2004)

(25) Einreichungssprache:

Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache:

Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:

103 15 746.8 4. April 2003 (04.04.2003) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): FACHHOCHSCHULE DARMSTADT [DE/DE]; Haardtring 100, 64295 Darmstadt (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): HEDDRICH, Wolfgang [DE/DE]; Theodor Storm Strasse 8, 64839 Münster (DE). LAUTNER, Hans [DE/DE]; Lessingstrasse 9, 64291 Darmstadt (DE). HEIN, Lars [DE/DE]; Dr. Engelhardt-Weg 2, 97702 Münnerstadt (DE). LOSCH, Matthias [DE/DE]; Oranienstrasse 20, 55124 Mainz (DE). RENNER, Bernhard [DE/DE]; Eulerweg 32, 64347 Griesheim (DE).

(74) Anwalt: BOEHMERT & BOEHMERT; Weber-Bruis, Dorothée, Dr., Hollerallee 32, 28209 Bremen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweiibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: THERMAL COMBUSTION ENGINE WHICH CONVERTS THERMAL ENERGY INTO MECHANICAL ENERGY AND USE THEREOF

(54) Bezeichnung: WÄRMEKRAFTMASCHINE ZUR UMWANDLUNG VON THERMISCHER ENERGIE IN MECHANISCHE ENERGIE SOWIE VERWENDUNG DERSELBEN

WO 2004/092547 A2

(57) Abstract: The invention relates to a thermal combustion engine which converts thermal energy into mechanical energy, comprising at least one vapour producing device which at least partially vaporises a first liquid working medium by means of thermal energy supplied to the combustion engine, at least one rotor which can be driven by means of a vaporised first working medium in order to produce mechanical energy and rotated with respect to at least one stator around a first rotational axis, and at least one condensation device for condensation of the vaporised first working medium after the rotor has been driven. The rotor surrounds the stator in an essentially complete manner. The invention also relates to the use of the inventive thermal combustion engine.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie, umfassend zumindest eine Dampferzeugungsvorrichtung zum zumindest teilweisen Verdampfen eines ersten flüssigen Arbeitsmediums mittels der Wärmekraftmaschine zugeführter thermischer Energie, zumindest einen mittels des verdampften ersten Arbeitsmediums zur Erzeugung von mechanischer Energie antreibbaren und relativ zu zumindest einem Stator um eine erste Drehachse drehbaren Rotor und zumindest eine Kondensationsvorrichtung zur Kondensation des verdampften ersten Arbeitsmediums nach Antreiben des Rotors, wobei der Rotor den Stator im wesentlichen vollständig umgibt, sowie eine Verwendung einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine.

Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie sowie Verwendung derselben

Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Wärmekraftmaschine zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie sowie die Verwendung einer solchen Wärmekraftmaschine.

Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl von Wärmekraftmaschinen bekannt. So offenbar beispielsweise die DE 199 48 128 A1 eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Erzeugung von Strömungsenergie in Flüssigkeiten aus Wärme. Die Vorrichtung umfasst dabei ein Gehäuse mit einer mit einem Verdampfer verbundenen Dampfeintrittsöffnung und einer mit einem Kondensator verbundenen Dampfaustrittsöffnung. Ferner weist das Gehäuse eine mit einem Hydromotor verbundene Vorlauföffnung und einen mit demselben verbundenen Rücklaufanschluss auf. Innerhalb des Gehäuses ist ein Rotor angeordnet, der mehrere Zellen aufweist, in denen sich jeweils Kolben befinden. Durch Zufuhr von Dampf unter Druck durch die Dampfeintrittsöffnung, Abfuhr des Dampfes aus der Dampfaustrittsöffnung sowie Drehung des Rotors wird ein Pumpen einer Hydraulikflüssigkeit durch den Hydromotor erzielt. Nachteilig bei dieser Vorrichtung ist jedoch, dass sie konstruktiv aufwendig ist, und aufgrund ihres mehrkomponentigen Aufbaus einen großen Bauraum aufweist und somit nicht kompakt ausgeführt werden kann. Darüber hinaus ist insbesondere eine Pumpe erforderlich, um in dem Kondensator kondensierte Flüssigkeit dem Verdampfer wieder zuzuführen.

Ferner offenbart die US 2002/0194848 A1 einen Dampfmotor zum Antrieb eines Generators. Der Dampfmotor umfasst dabei einen Kreiskolbenmotor, der in einem geschlossenen Dampf-

kreislauf integriert ist. Der Dampfkreislauf umfasst einen Dampfgenerator, eine Dampfeinspritzung zur Einspritzung von Dampf in den Kreiskolbenmotor sowie einen Kondensator zur Kondensation des Dampfes, der aus dem Kreiskolbenmotor austritt. Innerhalb des Dampfmotors wird eine Verbrennung durchgeführt, um einem Dampfgenerator, der aus einem Bündel kreisförmiger Rohre besteht, Hitze zuzuführen. Der aus dem Dampfgenerator austretende Dampf wird dem Kreiskolbenmotor zugeführt und fließt anschließend durch ein weiteres Bündel von Rohren, die einer Vorerwärmung von Verbrennungsluft dienen. Der so teilweise abgekühlte Dampf wird einem Kondensator zugeführt, und das im Kondensator kondensierte Wasser wird anschließend über eine Pumpe wieder dem Dampfgenerator zugeführt. Nachteilig bei diesem Dampfmotor ist jedoch ebenfalls der konstruktiv aufwendige Aufbau sowie die geringe Kompaktheit aufgrund der Vielzahl der notwendigen Komponenten, einschließlich einer Pumpe zur Förderung von in dem Kondensator kondensierten Wasser in den Dampfgenerator. Ferner ist der Kreiskolbenmotor verschleißanfällig, woraus sich hohe Wartungskosten ergeben.

Darüber hinaus sind aus dem Stand der Technik Wärmekraftmaschinen umfassend Dampfturbinen bekannt. Diesen Dampfturbinen wird in einem externen Dampferzeuger erzeugter Dampf derart zugeführt, dass ein in einem Gehäuse angeordneter Rotor mit einem Schaufelrad angetrieben wird. Nach dem Durchtritt durch das Schaufelrad wird der aus dem Gehäuse austretende Dampf kondensiert, und das so kondensierte Arbeitsmedium über eine Pumpe wieder dem Dampferzeuger zugeführt. Nachteilig bei diesen Dampfturbinen ist jedoch, dass zusätzliche Komponenten, insbesondere Ventile, Steuerelemente oder Pumpen, notwendig sind, um eine Umwandlung thermischer Energie in mechanische Energie zu erreichen. Insbesondere weisen derartige Wärmekraftmaschinen unter Verwendung einer Dampfturbine aufgrund der großen Anzahl von Einzelkomponenten ein hohes Leistungsgewicht, d. h. Gewicht relativ zur entnehmbaren Leistung, auf.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine Wärmekraftmaschine bereitzustellen, die die Nachteile des Standes der Technik überwindet. Insbesondere soll die Umwandlung thermischer Energie in mechanische Energie bei Erreichen eines geringen Leistungsgewichts, einer hohen Effizienz, einer niedrigen Schadstoff- und Lärmemission sowie einem einfachen, wartungsarmen und verschleißarmen Aufbau erzielt werden.

Erfnungsgemäß wird diese Aufgabe in einer ersten Ausbildung dadurch gelöst, dass die Wärmekraftmaschine zumindest eine Dampferzeugungsvorrichtung zum zumindest teilweisen Verdampfen eines ersten flüssigen Arbeitsmediums mittels der Wärmekraftmaschine zugeführter thermischer Energie, zumindest einen mittels des verdampften ersten Arbeitsmediums zur Erzeugung von mechanischer Energie antreibbaren und relativ zu zumindest einem Stator um eine erste Drehachse drehbaren Rotor und zumindest eine Kondensationsvorrichtung zur Kondensation des verdampften ersten Arbeitsmediums nach Antreiben des Rotors umfasst, wobei der Rotor den Stator im wesentlichen vollständig umgibt, und der Rotor die Dampferzeugungsvorrichtung und die Kondensationsvorrichtung im Wesentlichen vollständig umfasst.

Alternativ zu der beschriebenen Ausbildung wird die erfundungsgemäße Aufgabe in einer zweiten Ausbildung gelöst, durch eine Wärmekraftmaschine umfassend zumindest eine Dampferzeugungsvorrichtung zum zumindest teilweisen Verdampfen eines ersten flüssigen Arbeitsmediums mittels der Wärmekraftmaschine zugeführter thermischer Energie, zumindest einen mittels des verdampften ersten Arbeitsmediums zur Erzeugung von mechanischer Energie antreibbaren und relativ zu zumindest einem Stator um eine erste Drehachse drehbaren Rotor und zumindest eine Kondensationsvorrichtung zur Kondensation des verdampften ersten Arbeitsmediums nach Antreiben des Rotors, wobei der Rotor den Stator zumindest bereichsweise umgibt.

Bei der zweiten Ausbildung kann vorgesehen sein, dass der Rotor die Dampferzeugungsvorrichtung und/oder die Kondensationsvorrichtung im Wesentlichen vollständig umfasst.

Bei den beiden zuvor angeführten Ausführungsform kann der Stator erfundungsgemäß die Dampferzeugungsvorrichtung und/oder die Kondensationsvorrichtung im Wesentlichen vollständig umfassen.

Alternativ zu den beiden zuvor angeführten Ausführungsformen kann auch vorgesehen sein, dass die Dampferzeugungsvorrichtung und/oder die Kondensationsvorrichtung zumindest zweigeteilt ausgebildet ist bzw. sind und der Rotor einen ersten Teil der Kondensationsvorrichtung und/oder einen ersten Teil der Dampferzeugungsvorrichtung umfasst und der Stator den anderen Teil der Dampferzeugungsvorrichtung und/oder der Kondensationsvorrichtung umfasst.

Dabei ist erfindungsgemäß in einer vorteilhaften Ausführungsform zumindest eine die Dampferzeugungsvorrichtung bildende erste Kammer, zumindest eine die Kondensationsvorrichtung bildende zweite Kammer und zumindest eine Turbinenkammer vorgesehen, wobei vorzugsweise die erste Kammer und die zweite Kammer, die erste Kammer und die Turbinenkammer und/oder die zweite Kammer und die Turbinenkammer zumindest bereichsweise mittels zumindest einer, insbesondere thermisch isolierenden, Wand voneinander abgetrennt sind.

Bei der vorgenannten alternativen Ausführungsform wird vorgeschlagen, dass die Wärmekraftmaschine zumindest eine die erste Kammer und die Turbinenkammer zum Durchtritt des verdampften ersten Arbeitsmediums verbindende erste Verbindungsvorrichtung, vorzugsweise umfassend zumindest eine erste Düse, wobei vorzugsweise die Geometrie und/oder die Ausrichtung der Düsenöffnung einstellbar ist, zumindest ein erstes Rohr und/oder zumindest eine insbesondere in der thermisch isolierenden Wand ausgebildete, erste Öffnung, umfasst.

Bei den beiden vorgenannten alternativen Ausführungsformen kann ferner zumindest eine die Turbinenkammer und die zweite Kammer zum Durchtritt des verdampften ersten Arbeitsmediums verbindende zweite Verbindungsvorrichtung, vorzugsweise umfassend zumindest eine zweite Düse, wobei vorzugsweise die Geometrie und/oder die Ausrichtung der Düsenöffnung einstellbar ist, zumindest ein zweites Rohr und/oder zumindest eine, insbesondere in der thermisch isolierenden Wand ausgebildete, zweite Öffnung, vorgesehen sein.

Auch wird bei den beiden vorgenannten Ausführungsformen zumindest eine mit der ersten Verbindungsvorrichtung in Wirkverbindung stehende erste und/oder zumindest eine mit der zweiten Verbindungsvorrichtung in Wirkverbindung stehende zweite Durchflussteuer- und/oder Regeleinrichtung, vorzugsweise in Form eines ersten und/oder zweiten Ventils, vorgeschlagen.

Vorteilhafte Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine verfügen über zumindest eine die erste Kammer und die Turbinenkammer zum Durchtritt des flüssigen ersten Arbeitsmediums verbindende dritte Verbindungsvorrichtung, insbesondere in Form zumindest einer, vorzugsweise in der thermisch isolierenden Wand ausgebildeten, dritten Öffnung.

Auch kann zumindest eine die Turbinenkammer und die zweite Kammer zum Durchtritt des flüssigen ersten Arbeitsmediums verbindende vierte Verbindungsvorrichtung, vorzugsweise in Form zumindest einer, insbesondere in der thermisch isolierenden Wand ausgebildeten, vierten Öffnung, in einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine vorhanden sein.

Bei den beiden vorgenannten Alternativen wird mit der Erfindung vorgeschlagen, dass das flüssige erste Arbeitsmedium während einer Drehung des Rotors, insbesondere aufgrund der auf das Arbeitsmedium wirkenden Fliehkraft, einen Austritt des verdampften ersten Arbeitsmediums aus der ersten Kammer durch die dritte und/oder vierte Verbindungsvorrichtung verhindert, insbesondere die dritte und/oder vierte Öffnung blockiert.

Ferner wird mit der Erfindung zumindest eine mit der dritten Verbindungsvorrichtung in Wirkverbindung stehende dritte und/oder zumindest eine mit der vierten Verbindungsvorrichtung in Wirkverbindung stehende vierte Durchflussteuer- und/oder Regeleinrichtung, vorzugsweise in Form eines dritten und/oder vierten Ventils, insbesondere eines Rückschlagventils, vorgeschlagen.

Insbesondere kann auch vorgesehen sein, dass die zweite Kammer und die Turbinenkammer in einem ausgeformt sind.

Bei den vorgenannten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine kann zumindest ein in der ersten Kammer, der zweiten Kammer und/oder der Turbinenkammer ausgebildeter Strömungsführungskörper vorgesehen sein.

Eine vorteilhafte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine zeichnet sich durch zumindest ein von dem Stator umfasstes, erstes Schaufelrad aus, dem, vorzugsweise über die erste Verbindungsvorrichtung, zum Drehen des Rotors relativ zu dem Stator das verdampfte erste Arbeitsmedium zuführbar ist, insbesondere axial, radial und/oder unter einem vorbestimmten Winkel relativ zu der ersten Drehachse.

Die vorgenannte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine kann gekennzeichnet sein durch zumindest ein mit dem Rotor in Wirkverbindung stehendes, insbesondere mit diesem drehmitnahmesicher verbindbares, und stromaufwärts und/oder stromab-

wärts des verdampften Arbeitsmediums relativ zum ersten Schaufelrad angeordnetes Strömungsführungsrad, wobei das Strömungsführungsrad vorzugsweise zumindest bereichsweise konzentrisch zum ersten Schaufelrad angeordnet ist, insbesondere innerhalb und/oder außerhalb des ersten Schaufelrades. Insbesondere die Anordnung des Strömungsführungsrades stromaufwärts des verdampften Arbeitsmediums relativ zum ersten Schaufelrad führt zu einer Erhöhung des Wirkungsgrades.

Die beiden vorgenannten Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine können gekennzeichnet sein durch zumindest ein von dem Stator umfasstes insbesondere stromabwärts des verdampften Arbeitsmediums relativ zum Strömungsführungsgrad angeordnetes, zweites Schaufelrad, wobei vorzugsweise stromaufwärts und/oder stromabwärts des verdampften Arbeitsmediums relativ zu dem zweiten Schaufelrad zumindest ein mit dem Rotor in Wirkverbindung stehendes, insbesondere mit diesem drehmitnahmesicher verbindbares, Umlenkrad angeordnet ist, wobei insbesondere das Umlenkrad zumindest bereichsweise konzentrisch zum ersten und/oder zweiten Schaufelrad angeordnet ist, insbesondere innerhalb und/oder außerhalb des ersten und/oder zweiten Schaufelrades.

Bei den drei vorgenannten alternativen Ausführungsformen sieht die Erfindung insbesondere vor, dass das erste Schaufelrad, das Strömungsführungsrad, das zweite Schaufelrad und/oder das Umlenkrad zumindest teilweise in der Turbinenkammer angeordnet ist bzw. sind.

Auch wird vorgeschlagen, dass das zweite Schaufelrad einen von einem ersten Durchmesser des ersten Schaufelrades abweichenden zweiten Durchmesser und/oder eine von der Anzahl bzw. der Geometrie der Schaufeln des ersten Schaufelrades abweichende Anzahl bzw. Geometrie der Schaufeln aufweist.

Vorteilhafte Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine sind auch gekennzeichnet durch eine Vielzahl von zweiten Schaufelrädern und/oder Umlenkrä dern, wobei die zweiten Schaufelräder vorzugsweise unterschiedliche Durchmesser, unterschiedliche Geometrien und/oder eine unterschiedliche Anzahl von Schaufeln zueinander aufweisen, und/oder die Umlenkräder unterschiedliche Durchmesser, unterschiedliche Geometrien und/oder eine unterschiedliche Anzahl von Schaufeln zueinander aufweisen.

Auch kann vorgesehen sein, dass die Geometrie und/oder die Stellung zumindest einer Schaufel des ersten Schaufelrades, zumindest eines zweiten Schaufelrades, des Strömungsführungsrades und/oder zumindest eines Umlenkrades, vorzugsweise während eines Betriebs der Wärmekraftmaschine, einstellbar ist bzw. sind.

Ferner schlägt die Erfindung zumindest ein Heizmittel zur Beaufschlagung der Dampferzeugungsvorrichtung, insbesondere der ersten Kammer, mit Wärme vor, vorzugsweise in Form eines fluiden Heizmediums, insbesondere in Form von heißen Gasen, wie Verbrennungsgassen, einer Heizquelle, wie in Form zumindest einer Heizspindel, die in einer, insbesondere ein Material hoher Wärmeleitfähigkeit umfassenden und/oder für einen hohen konvektiven Wärmetransport strukturierten, Wand der ersten Kammer integriert und/oder auf der Oberfläche dieser Wand ausgebildet ist, zumindest einer ersten Durchflusseinrichtung für ein Heizfluid und/oder zumindest einer auf einer Außenseite der Wand der ersten Kammer ausgebildeten, insbesondere von dem Heizfluid durchströmbaren, ersten Struktur und/oder zumindest einer auf einer Innenseite der Wand der ersten Kammer ausgebildeten, insbesondere von dem, vorzugsweise verdampften Arbeitsmedium durchströmbaren, zweiten Struktur.

Bei der vorgenannten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass die erste Durchflusseinrichtung in die Wand integriert ist, wobei das Heizmittel der ersten Durchflusseinrichtung vorzugsweise über eine Welle des Stators zugeführt wird und/oder dass Heizmittel insbesondere in einem die erste Durchflusseinrichtung umfassenden, vorzugsweise geschlossenen, Heizkreislauf umgewälzt wird.

Ferner wird mit der Erfindung zumindest ein Kühlmittel zur Beaufschlagung der Kondensationsvorrichtung, insbesondere der zweiten Kammer, mit Kälte vorgeschlagen, vorzugsweise in Form eines fluiden Kühlmediums, insbesondere in Form von Stickstoff oder Kaltluft, einer Kühlquelle, wie in Form zumindest eines Peltierelements, die insbesondere in einer, vorzugsweise ein Material hoher Wärmeleitfähigkeit umfassenden und/oder für einen hohen konvektiven Wärmetransport strukturierten, Wand der zweiten Kammer integriert und/oder auf der Oberfläche dieser Wand ausgebildet ist, zumindest einer zweiten Durchflusseinrichtung für ein Kühlfluid, wie Stickstoff oder Kaltluft, und/oder zumindest einer auf einer Außenseite der Wand der zweiten Kammer ausgebildeten, insbesondere von dem Kühlfluid durchströmbaren, dritten Struktur und/oder zumindest einer auf einer Innenseite der Wand der zweiten Kammer ausgebildeten, insbesondere von dem Arbeitsmedium durchströmbaren vierten Struktur.

Auch wird mit der Erfindung bei der zuvor angeführten Ausführungsform vorgeschlagen, dass die zweite Durchflusseinrichtung in die Wand integriert ist, wobei das Kühlmittel der zweiten Durchflusseinrichtung vorzugsweise über eine Welle des Stators zugeführt wird und/oder das Kühlmittel insbesondere in einem die zweite Durchflusseinrichtung umfassenden, vorzugsweise geschlossenen, Kühlkreislauf umgewälzt wird.

Bei den vier vorgenannten alternativen Ausführungsformen wird es mit der Erfindung als vorteilhaft angesehen, dass das Heizfluid im Bereich des Heizmittels eine Strömungsrichtung aufweist, die im wesentlichen von der ersten Drehachse radial nach außen zum Außenumfang des Rotors verläuft, und/oder das Kühlfluid im Bereich des Kühlmittels eine Strömungsrichtung aufweist, die im wesentlichen radial vom Außenumfang des Rotors in Richtung der ersten Drehachse verläuft.

Auch kann zumindest eine Zufuhreinrichtung zur Zuführung zumindest eines dampfförmigen zweiten Arbeitsmediums, wobei vorzugsweise das erste und zweite verdampfte Arbeitsmedium identisch sind, vorgesehen sein.

Ferner sieht eine vorteilhafte Ausführungsform der Erfindung zumindest eine Abnahmevorrichtung zur Abführung zumindest eines Teils des verdampften und/oder flüssigen ersten Arbeitsmediums vor.

Vorteilhafterweise ist zumindest eine mit der Zufuhreinrichtung in Wirkverbindung stehende fünfte Durchflusssteuer- und/oder Regeleinrichtung und/oder zumindest eine mit der Abnahmevorrichtung in Wirkverbindung stehende sechste Durchflusssteuer- und/oder Regeleinrichtung vorgesehen.

Schließlich wird mit der Erfindung zumindest eine mit der Dampferzeugungsvorrichtung, der Kondensationseinrichtung, der ersten und/oder zweiten Düse der ersten, zweiten, dritten, vierten, fünften und/oder sechsten Durchflusssteuer- und/oder Regeleinrichtung, dem ersten Schaufelrad, zumindest einem zweiten Schaufelrad, dem Strömungsführungsrad und/oder zumindest einem Umlenkrad, dem Heizmittel, dem Kühlmittel und/oder einem Sensor zur Messung der Drehgeschwindigkeit des Rotors in Wirkverbindung stehende Steuer- und/oder Regeleinheit vorgeschlagen.

Die Erfindung sieht ferner die Verwendung einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine als Vorschaltturbinen, Abdampfturbine, Gegendruckturbine, Entnahmeturbine, Gleichdruckturbine und/oder Überdruckturbine vor.

Der Erfindung liegt somit die überraschende Erkenntnis zugrunde, dass die Ausführung einer Dampfturbine in Form eines Außenläufers, bei dem eine Dampferzeugungsvorrichtung und eine Kondensationsvorrichtung in den Rotor integriert sind, dazu führt, dass ein konstruktiv einfacher Aufbau einer Wärmekraftmaschine realisiert werden kann. Insbesondere kann eine Wärmekraftmaschine bereitgestellt werden, die auf Steuer- und/oder Förderelemente, wie Ventile oder Pumpen zur Förderung eines Arbeitsmediums von einem Verdampfer zu einem Kondensator, verzichtet. Durch die Integration eines Verdampfers und Kondensators in einem Rotor, der um einen zumindest ein Schaufelrad aufweisenden Stator rotiert, wird erfindungsgemäß eine automatische Förderung von Arbeitsmedium von dem Kondensator zu dem Verdampfer über die durch die Rotation auf das Arbeitsmedium wirkende Zentrifugalkraft erzielt. Darüber hinaus stellt die Drehbewegung des Rotors und damit die auf das Arbeitsmedium wirkende Zentrifugalkraft sicher, dass das Arbeitsmedium selber einen von dem Kondensator zu dem Verdampfer verlaufenden Verbindungskanal derart verschließt, dass in dem Verdampfer erzeugter Dampf nur in den Kondensator gelangen kann, indem er aus dem Verdampfer austritt, auf das Schaufelrad auftritt und somit eine Drehung des Rotors bewirkt. Insbesondere bewirkt die durch die Drehung des Rotors auf das Arbeitsmedium wirkende Fliehkraft, dass auch bei größeren Drücken innerhalb des Dampferzeugers relativ zum Druck in dem Kondensator aufgrund des durch die Fliehkraft hervorgerufenen hydrostatischen Drucks ein Übergang des dampfförmigen Arbeitsmediums aus dem Dampferzeuger in den Kondensator nur in der zuvor beschriebenen Weise nach Durchlaufen des Schaufelrads ermöglicht wird. Das heißt, durch den erfindungsgemäßen Aufbau einer Wärmekraftmaschine wird ein Fliehkraftverschluß zwischen dem Kondensator und dem Verdampfer realisiert. Dieser Fliehkraftverschluss dient ferner auch als Pumpe, um Arbeitsmedium aus dem Kondensator in den Verdampfer zu befördern. Dies führt dazu, dass auf zusätzliche Speisepumpen etc. verzichtet werden kann. Darüber hinaus ermöglicht der Aufbau der Dampfturbine als Außenläufer einen hohen Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschine. Sowohl eine Beheizung der Maschine auf der Verdampferseite, beispielsweise mit Verbrennungsgasen, als auch eine Abkühlung auf der Kondensatorseite, beispielsweise mit Kühl Luft, erfolgt erfindungsgemäß bevorzugt im Gegenstromprinzip, wobei ansonsten beliebige Strömungsrichtungen des Kühl- bzw. Beheizungs-

mediums möglich sind. Eine effiziente Ausnutzung der Verbrennungsgase wird dabei dadurch erreicht, dass Verbrennungsgase hoher Temperatur den Bereich in der Nähe der Achse des Rotors beheizen und somit besonders heißer Dampf aus dem Dampferzeuger austritt, der dann insbesondere über Düsen auf das Schaufelrad des Stators gerichtet wird. Die Verbrennungsgase fließen dann in radialer Richtung von der Drehachse des Rotors aus zum Außenumfang des Rotors, wo die sich abkühlenden Verbrennungsgase das aufgrund der Zentrifugalkraft dort befindliche flüssige Arbeitsmedium am Außenumfang des Rotors zum Sieden bringen. Der dabei erzeugte Dampf wandert im Rotor in Richtung der Drehachse des Rotors und wird aufgrund der in dieser Richtung immer höher werdenden Temperatur der Verbrennungsgase kontinuierlich aufgeheizt, so dass zum Beispiel eine isobare Expansion stattfinden kann. Auf der Kondensatorseite fließt die Kühlung vom Außenumfang des Rotors in radiale Richtung zur Drehachse des Rotors, außerhalb des Rotors, hin. So wird erreicht, dass Dampf, der im Inneren des Rotors radial von der Drehachse nach außen strömt, zunehmend abgekühlt wird und kondensiert. Somit ermöglicht der Aufbau der erfundungsgemäßen Wärmekraftmaschine als Dampfturbine im Außenläuferprinzip den Einsatz eines Gegenstromprinzips sowohl zur Erwärmung eines Arbeitsfluids als auch zur Abkühlung desselben, was zu einer Erhöhung der Effizienz der Wärmekraftmaschine führt.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfahrung ergeben sich aus der nachstehenden Beschreibung, in der bevorzugte Ausführungsformen der Erfahrung beispielhaft anhand schematischer Zeichnungen erläutert sind. Dabei zeigt:

Figur 1 eine Schnittansicht einer ersten Ausführungsform einer erfundungsgemäßen Wärmekraftmaschine;

Figur 2 eine Schnittansicht der Wärmekraftmaschine der Figur 1 entlang der Ebene A-A der Figur 1;

Figur 3 eine Schnittansicht einer zweiten Ausführungsform einer erfundungsgemäßen Wärmekraftmaschine;

Figur 4 eine Schnittansicht der Wärmekraftmaschine der Figur 3 entlang der Ebene B-B der Figur 3;

Figur 5 eine Schnittansicht einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine;

Figur 6 eine Schnittansicht der Wärmekraftmaschine der Figur 5 entlang der Ebene B-B der Figur 5;

Figur 7 eine Schnittansicht einer vierten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine;

Figur 8a eine Schnittansicht einer fünften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine;

Figur 8b eine Schnittansicht einer Abwandlung der fünften Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine nach Figur 8a;

Figur 9 eine Schnittansicht einer sechsten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine;

Figur 10 eine Schnittansicht einer siebten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine; und

Figur 11 eine Schnittansicht einer achten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine.

In den Figuren 1 und 2 ist eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in Form einer Dampfturbine 1, oder besser Kompaktdampfturbine, mit integrierter Dampferzeugungszone dargestellt. Die Dampfturbine 1 umfasst einen Stator 3, der wiederum eine feststehende Welle 5 sowie ein mit der Welle 5 verbundenes Schaufelrad 7 umfasst. Über ein Lager 9 und eine Dichtung 10 ist ein Rotor 11 mit Stirnwänden 11a, 11c und einer Umfangswand 11b drehbar relativ zum Stator 3 derart gelagert, dass das Innere des Rotors 11 abgedichtet ist. Der Rotor 11 besteht im Wesentlichen aus einer ersten Kammer 13 und einer zweiten Kammer 15. Die Kammern 13, 15 sind durch eine thermisch isolierende Wand 17 voneinander getrennt, bis auf Öffnungen 19 der Wand 17 im Bereich der Umfangswand 11b des Rotors 11. Durch die Öffnungen 19 kann ein Arbeitsmedium 21, vorzugsweise

Wasser, von der zweiten Kammer 15 in die erste Kammer 13 fließen, wie später im Detail beschrieben. Aufgrund der auf das Arbeitsmedium 21 bei einer Drehung des Rotors 11 wirkenden Zentrifugalkräfte sammelt sich das Arbeitsmedium 21 an der Umfangswand 11b des Rotors 11, wie in den Figuren 1 und 2 dargestellt. Die erste Kammer 13 wird ferner durch eine Trennwand 23 von einer Turbinenkammer 25, in der das Schaufelrad 7 angeordnet ist, getrennt. Innerhalb der Trennwand 23 sind Öffnungen in Form von Düsen 27 ausgebildet. Im Folgenden wird nunmehr die Funktionsweise der Dampfturbine 1 erläutert:

Dem Rotor 11 werden auf der der ersten Kammer 13 zugewandten Seite angeordneten, ersten Stirnwand 11a Verbrennungsgase 29 einer nicht dargestellten Heizeinrichtung zugeführt. Wie Figur 1 zu entnehmen ist, erfolgt die Zuführung der Verbrennungsgase 29 derart, dass sie entlang des Rotors 11 von der Drehachse desselben radial nach außen geführt werden. Durch die Verbrennungsgase 29 kommt es dabei zu einer Erwärmung der ersten Stirnwand 11a des Rotors 11, wodurch es zu einer Aufheizung des im Bereich der ersten Kammer 13 befindlichen Arbeitsmediums 21 kommt, was schließlich zu einer zumindest teilweisen Verdampfung des Arbeitsmediums 21 in der ersten Kammer 13 führt. Die erste Kammer 13 wirkt somit als Dampferzeugungskammer. Durch eine Regelung der Wärmezufuhr mittels Steuerung bzw. Regelung der Menge an zugeführtem Verbrennungsgas 29 bzw. dessen Temperatur lässt sich die von der Dampfturbine 1 abgegebene Leistung bzw. die Drehzahl derselben steuern bzw. regeln.

Um einen effizienten Wärmeaustausch zwischen den Verbrennungsgasen 29 und dem Inneren der ersten Kammer 13 oder Dampferzeugungskammer zu ermöglichen, befinden sich auf der ersten Stirnwand 11a des Rotors 11 im Bereich der ersten Kammer 13, vorzugsweise sowohl auf der den Verbrennungsgasen 29 zugewandten Seite als auch auf der der ersten Kammer 13 zugewandten Seite, nicht dargestellte Wärmetauscherelemente, die von den Verbrennungsgasen 29 bzw. dem in der ersten Kammer 13 verdampften Arbeitsmedium 21 durchströmt werden. Insbesondere umfasst die erste Stirnwand 11a des Rotors 11 ein Material mit hoher Wärmeleitfähigkeit.

Das verdampfte Arbeitsmedium 21 wandert innerhalb der ersten Kammer 13 von der Umfangswand 11b zur Drehachse des Rotors 11 hin. Somit ist ein Gegenstromprinzip in der Dampfturbine 1 realisiert. Dies führt zu einer effizienten Ausnutzung der Energie der Verbrennungsgase 29. Die Verbrennungsgase 29 hoher Temperatur treffen auf den der Dreh-

achse des Rotors 11 zugewandten Bereich der ersten Kammer 13, so dass in diesem Bereich besonders heißer Dampf entsteht. Die in radialer Richtung des Rotors 11 wandernden Verbrennungsgase 29 kühlen sich dann weiter ab und bringen das Arbeitsmedium 21 im Bereich der Umfangswand 11b des Rotors 11 zum Sieden. Somit wird eine effiziente Ausnutzung der Wärmeenergie der Verbrennungsgase 29 erreicht.

Das im Bereich der Umfangswand 11b des Rotors 11 erhitzte Arbeitsmedium 21 fließt durch die erste Kammer 13 bzw. Dampferzeugungskammer in Richtung der Trennwand 23, wobei es sich isobar expandiert. Somit entsteht innerhalb der ersten Kammer 13 ein erhöhter Innendruck, was sich dadurch bemerkbar macht, dass der Pegel des Arbeitsmediums 21 im Bereich der ersten Kammer 13 geringer ist als derjenige in der zweiten Kammer 15. Der so in der ersten Kammer 13 erzeugte Dampf fließt durch die Düsen 27 und wird dabei adiabatisch expandiert. Wie insbesondere Figur 2 zu entnehmen ist, sind die Düsen 27 nicht radial, sondern geneigt ausgerichtet, so dass ein optimaler Neigungswinkel der Düsen 27 einstellbar ist. Der Dampf trifft daher so auf das Schaufelrad 7, dass es zu einem Rückstoß des Rotors 11 relativ zum Stator 3 kommt, was eine Drehbewegung des Rotors 11 erzeugt bzw. aufrechterhält.

Nach dem Durchtritt durch das Schaufelrad 7 tritt der Dampf aus der Turbinenkammer 25 in die zweite Kammer 15, die als Kondensationskammer dient, ein. Dort kommt es zu einer Abkühlung des Dampfes und damit zu einer Auskondensation des Arbeitsmediums 21 im Bereich der zweiten Kammer 15.

Aufgrund der Rotation des Rotors 11 sammelt sich auskondensiertes Arbeitsmedium 21 an der Umfangswand 11b des Rotors 11. Um eine Abkühlung des dampfförmigen Arbeitsmediums 21 in der zweiten Kammer 15, die als Kondensationskammer wirkt, zu erreichen, wird der zweiten Stirnseite 11c des Rotors 11 Kühlluft 31 zugeführt. Auch diese Zuführung erfolgt im Gegenstromprinzip. Kalte Luft strömt als Kühlluft von der Außenseite des Rotors 11 in radialer Richtung zur Drehachse des Rotors 11 hin. Die Kühlluft 31 wird dabei erwärmt. Dagegen wird das dampfförmige Arbeitsmedium 21, das im Inneren der zweiten Kammer 15 radial von der Drehachse des Rotors 11 wegströmt, zunehmend abgekühlt und kondensiert dabei. Da somit die bereits erwärmte Kühlluft 31 im Bereich der Drehachse des Rotors 11 weitere Wärmeenergie aufnehmen kann, wobei ein konvektiver Wärmeaustausch zwischen dem Arbeitsmedium 21 und dem Kühlmedium 31 durch eine nicht dargestellte Strukturierung der Wand 11c, vorzugsweise in Form von Wärmetauscherelementen, unterstützt wird, wird

eine effiziente Wärmeabfuhr aus der zweiten Kammer 15 gewährleistet. Das in der zweiten Kammer 15 auskondensierte Arbeitsmedium 21 fließt dann durch die Öffnungen 19 in der Wand 17 in die erste Kammer 13, wo es wiederum verdampft wird.

Aufgrund der auf das Arbeitsmedium 21 wirkenden Fliehkraft wird dieses nach außen beschleunigt und verschließt somit die Öffnungen 19, so dass Dampf aus der ersten Kammer 13 ausschließlich durch die Düsen 27 in die zweite Kammer 15 gelangen kann. Auch bei einem größeren Druck in der ersten Kammer 13 relativ zum Druck in der zweiten Kammer 15 wird ein sicherer Verschluss der Öffnungen 19 für in der ersten Kammer 13 erzeugten Dampf des Arbeitsmediums 21 sichergestellt, da aufgrund des hydrostatischen Drucks, bedingt durch die Fliehkraft, die Öffnungen 19 durch das Arbeitsmedium 21 verschlossen gehalten werden.

Um zu erreichen, dass die Dampfturbine 1 selbständig anlaufen kann, können innerhalb der Öffnungen 19 Rückschlagventile angeordnet werden. Diese bewirken, dass Dampf, der anfänglich in der ersten Kammer 13 erzeugt wird, durch den Austritt durch Düsen 27 für eine Rotation des Rotors 11 sorgt, so dass nach einem Beginn der Rotation ein Verschluss der Öffnungen 19 durch das Arbeitsmedium 21 sichergestellt wird. Darüber hinaus können auch in den Düsen 27 Verschlusseinrichtungen, wie Ventile vorgesehen sein, um eine Steuerung der Drehgeschwindigkeit des Rotors 11 zu erreichen. Dabei kann insbesondere vorgesehen sein, dass die Ventile in den Öffnungen 19 sowie den Düsen 27 mit einer nicht dargestellten Steuer- und Regeleinrichtung verbunden sind. Ferner ist eine Drehzahlsteuerung bzw. -regelung der Dampfturbine 1 durch Variation der mittels der Verbrennungsgase 29 zugeführten Wärmeenergiemenge und/oder durch Variation des Neigungswinkels der Düsen 27 möglich.

In den Figuren 3 und 4 ist eine zweite Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärme- kraftmaschine in Form einer Dampfturbine 1', oder besser Kompaktdampfturbine, mit integriertem Dampferzeugungszone dargestellt. Die Dampfturbine 1' entspricht im Wesentlichen von ihrem Grundaufbau her dem Aufbau der in den Figuren 1 und 2 dargestellten Dampftur- bine 1. Im Gegensatz zu der Dampfturbine 1 sind bei der Dampfturbine 1' die entsprechenden Elemente mit den gleichen Bezugszeichen, allerdings einmal gestrichen, bezeichnet. Die Dampfturbine 1' unterscheidet sich im Wesentlichen von der Dampfturbine 1 durch eine un- terschiedliche Strömungsführung des verdampften bzw. flüssigen Arbeitsmediums 21'. Ähn- lich der Dampfturbine 1 werden dem Rotor 11' der Dampfturbine 1' auf der der ersten Kam- mer 13' zugewandten Seite angeordneten, ersten Stirnwand 11a' Verbrennungsgase 29' zuge-

führt. Auch diese Zuführung erfolgt, wie Figur 3 zu entnehmen ist, im Gegenstromprinzip. Durch die Verbrennungsgase 29' kommt es zu einer Erwärmung des innerhalb der ersten Kammer 13' vorhandenen Arbeitsmediums 21'. Im Gegensatz zur Dampfturbine 1 fließt dieses verdampfte Arbeitsmedium 21' allerdings erst nach einer Umlenkung um nahezu 180° mittels eines Strömungsführungskörpers 14' durch Düsen 27' in die Turbinenkammer 25' bzw. die zweite Kammer 15'. Diese Umlenkung um den Strömungsführungskörper 14' bietet insbesondere den Vorteil, dass mitgerissene Tröpfchen des Arbeitsmediums 21' dem Dampfstrom um den Strömungsführungskörper 14' nicht folgen können und so nicht über die Düse 27' in die Turbinenkammer 25' bzw. die zweite Kammer 15' gelangen können. Die mitgerissenen Tröpfchen strömen mit dem Dampfstrom in Richtung der Rotationsachse des Rotors 11', bewegen sich jedoch weiter in radialer Richtung und treffen auf den Strömungskörper 14', wodurch sie aufgrund der wirkenden Zentrifugalkraft in Richtung der Umfangswand 11b' beschleunigt werden. Ferner wird durch den Strömungsführungskörper 14' erreicht, dass das verdampfte Arbeitsmedium 21' im Wesentlichen bis zur Rotationsachse des Rotors 11' innerhalb der ersten Kammer 13' strömen kann, und somit ein maximaler Wärmeübertrag der Energie der Verbrennungsgase 29' an das Arbeitsmedium 21' erfolgen kann.

Nach einer Umlenkung des dampfförmigen Arbeitsmediums 21' fließt dasselbe durch Düsen 27' in radialer Richtung auf das Schaufelrad 7'. Das dampfförmige Arbeitsmedium 21' fließt dann innerhalb der zweiten Kammer 15' in der Nähe der Welle 5' in Richtung der Stirnwand 11c'. Diese Strömungsführung wird insbesondere durch einen in der zweiten Kammer 15' im Bereich des Schaufelrads 7' angeordneten Strömungsführungskörper 16' erreicht. Diese Strömungsführung stellt sicher, dass das dampfförmige Arbeitsmedium 21' im Gegenstromprinzip relativ zu der Kühlluft 31' auf der Innenseite der Stirnwand 11c' in Richtung der Umfangswand 11b' strömt. Darüber hinaus bietet die Strömungsführung innerhalb der Dampfturbine 1' den Vorteil, dass im Vergleich zur Dampfturbine 1 ein Schaufelrad 7' eingesetzt werden kann, das einen größeren Durchmesser als das Schaufelrad 7 der Dampfturbine 1 aufweist. Somit kann die Dampfturbine 1' bei geringeren Drehzahlen betrieben werden.

Das in der zweiten Kammer 15' auskondensierte Arbeitsmedium 21' sammelt sich aufgrund der Rotationskräfte an der Umfangswand 11b' und fließt durch Kanäle 20' zurück in die erste Kammer 13'. Die Kanäle 20' werden dabei durch die Umfangswand 11b' einerseits und eine im Wesentlichen zylinderförmige Trennwand 24', die insbesondere die Strömungsführungskörper 14' und 16' umfasst, gebildet. Dabei ist die Trennwand 24' insbesondere im Bereich der

Kanäle 20' thermisch isolierend ausgeführt, um eine Erwärmung des Arbeitsmediums 21' innerhalb der Kanäle 20' zu vermeiden.

In den Figuren 5 und 6 ist eine dritte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in Form einer Dampfturbine 1'', oder besser Kompaktdampfturbine, dargestellt. Die Dampfturbine 1'' entspricht im Wesentlichen von ihrem Grundaufbau her dem Aufbau der in den Figuren 3 und 4 dargestellten Dampfturbine 1'. Die Elemente der Dampfturbine 1'', die denjenigen der Dampfturbine 1' entsprechen, tragen die gleichen Bezugszeichen. Die Dampfturbine 1'' unterscheidet von der Dampfturbine 1' im Wesentlichen dadurch, dass ein Schaufelrad 7'' vorgesehen ist, das über zumindest ein Verbindungsglied 6'' mit einer Welle 5'' des Stators 3'' verbunden ist. Wie insbesondere der Figur 6 zu entnehmen ist, umgibt das Schaufelrad 7'' konzentrisch ein Strömungsführungsrad 8'', das über Verbindungsglieder 18'' mit der Wand 17'' und somit dem Rotor 11'' verbunden ist, wie insbesondere Figur 5 zu entnehmen ist. Wie aus Figur 6 ersichtlich, weist das Schaufelrad 7'' Schaufeln 28'' auf, während das Strömungsführungsrad 8'' Schaufeln 30'' umfasst. Durch diese Anordnung des Strömungsführungsrades 8'' relativ zum Schaufelrad 7'' wird eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrades der Dampfturbine 1'' im Vergleich zur Dampfturbine 1' erzielt. Das aus der Düse 27'' austretende Arbeitsmedium 21' trifft zunächst auf die Schaufeln 28'' des Schaufelrades 7'', wodurch es zu einem Antrieb des Rotors 11'' relativ zum Stator 3'', mit dem das Schaufelrad 7'' in Verbindung steht, kommt. Das aus dem Schaufelrad 7'' austretende Arbeitsmedium trifft auf die Schaufeln 30'' des Strömungsführungsrades 8'', das mit dem Rotor 11'' verbunden ist. Somit wird durch das Strömungsführungsrad 8'' auch die restliche, in dem Arbeitsmedium vorhandene Energie, zumindest teilweise in Bewegungsenergie des Rotors 11'' umgewandelt.

Bei den in den Figuren 1 bis 6 dargestellten Dampfturbine 1, 1', 1'' handelt es sich um einstufige Radialturbinen, da jeweils lediglich ein Schaufelrad 7, 7', 7'', vorgesehen ist und ferner der Dampf in radialer Richtung auf das Schaufelrad 7, 7', 7'' auftrifft. Im Gegensatz hierzu ist in Figur 7 eine vierte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in Form einer Dampfturbine 51, oder besser mehrstufigen Axialturbine, die als Gleichdruckturbine, das heißt nach dem Curtis-Prinzip arbeitend, aufgebaut ist, dargestellt. Unter Gleichdruckturbinen versteht man Dampfturbinen, bei denen der Ein- und Austrittsdruck des Dampfes eines Arbeitsmediums in die bzw. aus den Laufschaufeln eines Schaufelrades gleich ist. Somit wird die Schaufel einer Gleichdruckturbine mittels der Energie aus der Geschwindig-

keitsverminderung des Dampfes in den Laufschaufeln angetrieben. Insbesondere ist vorgesehen, dass die Dampfturbine 51 Geschwindigkeitsstufen aufweist, das heißt, die Geschwindigkeit des Dampfes stufenweise ausgenutzt wird. Um einen höheren thermodynamischen Wirkungsgrad zu erzielen, ist in derartigen Gleichdruckturbinen auch vorgesehen, dass Druckstufen erzeugt werden, das heißt ein Druckgefälle wird in mehrere Stufen aufgeteilt. Dies bietet den Vorteil, dass zu große Dampfgeschwindigkeiten vermieden werden können.

Die Dampfturbine 51 weist einen Stator 53 auf, der eine Welle 55 umfasst. Auf der Welle 55 sind voneinander beabstandet Schaufelräder 57a und 57b angeordnet. Über ~~ein~~ Lager 59 sowie Dichtungen 60 ist ein Rotor 61 relativ zu dem Stator 53 drehbar in der Dampfturbine 51 vorhanden. Der Rotor 61 weist eine erste Stirnwand 61a, eine Umwandwand 61b sowie eine zweite Stirnwand 61c auf. Ferner ist innerhalb des Rotors 61 eine erste Kammer 63, die als Dampferzeugungskammer dient, und eine zweite Kammer 65, die als Kondensationskammer dient, ausgebildet. Zudem weist die Dampfturbine 51, im Gegensatz zur Dampfturbine 1, eine Ausgleichskammer 67 zur Sammlung von flüssigem Arbeitsmedium 73 auf. Die erste Kammer 63 und die Ausgleichskammer 67 sind über eine thermisch isolierende Wand 69 voneinander getrennt.

Ähnlich den Dampfturbinen 1, 1', 1'' werden in der Dampfturbine 51 der ersten Stirnwand 61a des Rotors 61 Verbrennungsgase 71 im Gegenstromprinzip zugeführt. Dadurch kommt es zur Verdampfung zumindest eines Teils des Arbeitsmediums 73 innerhalb der ersten Kammer 63. Das so verdampfte Arbeitsmedium 73 wird über Leitungen 75, an dessen Ende Düsen 77 angeordnet sind, zunächst dem ersten Schaufelrad 57a zugeführt. Aufgrund der Expansion des Dampfes im Bereich der Düsen 77 und dem Auftreffen des Dampfes auf das erste Schaufelrad 57a kommt es zu einer Drehbewegung des Rotors 61.

Um die dem dampfförmigen Arbeitsmedium innewohnende Energie vollständig ausnutzen zu können, ist in der Dampfturbine 51 vorgesehen, dass der axial auf das erste Schaufelrad 57a gerichtete Dampf nach dem Durchtritt durch das erste Schaufelrad 57a in ein Umlenkrad 79a, das mit dem Rotor 61 mitrotiert, eintritt. Dieses Umlenkrad wirkt insbesondere als Laufrad und setzt die dem Dampf innewohnende Energie in Arbeitsenergie um. In dem Umlenkrad 79a kommt es ferner dann zu einer Umlenkung des Dampfstroms, bevor dieser dann im wesentlichen wieder in axialer Richtung bezüglich der Drehachse des Rotors 61 auf ein zweites Schaufelrad 57b, das ebenfalls mit der Welle 55 verbunden ist, auft trifft. Nach Durchtritt

durch das zweite Schaufelrad 57b gelangt der Dampf in ein zweites, ebenfalls insbesondere als Laufrad dienendes Umlenkrad 79b, das ebenfalls mit dem Rotor 61 verbunden ist. Danach tritt der Dampf in die zweite Kammer 65 ein, wo er aufgrund der Kühlung der zweiten Stirnwand 61c des Rotors 61 mittels Kühlluft 81 abgekühlt und auskondensiert wird. Das auskondensierte Arbeitsmedium 73 fließt dann aus der zweiten Kammer 65 über die Ausgleichskammer 67 in die erste Kammer 63. Dabei fließt das Arbeitsmedium 73 durch Kanäle 83, die zwischen der Umfangswand 61b und einer im Wesentlichen zylinderförmigen Trennwand 85 ausgebildet sind. Die Trennwand 85 dient zur thermischen Isolierung des Bereichs, in dem sich die Schaufelräder 57a, 57b sowie die Umlenkräder 79a, 79b befinden, einerseits und der Umfangswand 61b bzw. den Kanälen 83 andererseits. Zu diesem Zweck weist die Trennwand 85 eine geringe thermische Leitfähigkeit auf. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass die Trennwand 85 hohl ausgeführt ist, insbesondere einen Dämmstoff umfasst.

In Figur 8a ist eine fünfte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in Form einer mehrstufigen Dampfturbine 51' dargestellt. Der grundsätzliche Aufbau der Dampfturbine 51' entspricht im Wesentlichen demjenigen der in Figur 7 dargestellten Dampfturbine 51. Daher tragen im Wesentlichen identische Bauteile der Dampfturbine 51' die gleichen Bezugszeichen, allerdings einmal gestrichen, wie die der Dampfturbine 51. Im Gegensatz zur Dampfturbine 51 weist die Dampfturbine 51' drei Schaufelräder 57a', 57b' und 57c' auf. Dementsprechend weist die Dampfturbine 51' auch drei Umlenkräder 79a', 79b' und 79c', die jeweils mit dem Rotor 61' verbunden sind, auf. Ferner unterscheidet sich die Dampfturbine 51' von der Dampfturbine 51 dadurch, dass es sich aufgrund der Geometrie der Düsen 77', der Schaufelräder 57a', 57b', 57c' sowie Umlenkräder 79a', 79b' und 79c' um eine Überdruckturbine handelt. Da der Dampf unter einem geneigten Winkel relativ zur Drehachse des Rotors 61' die Schaufelräder 57a', 57b', 57d' durchströmt, handelt es sich bei der Dampfturbine 51' zudem um eine Diagonalturbine. Der Aufbau als Überdruckturbine bedeutet, dass der Dampf aus den Düsen 77' mit einem relativ hohen Druck austritt, und es in den Schaufeln der Schaufelräder 57a', 57b' sowie 57c' zu einer Druckabsenkung des Dampfdrucks kommt. Somit kommt es zu einer Energieumwandlung des Dampfes in den Schaufeln der Schaufelräder 57a', 57b', 57c', die sich aus der Geschwindigkeitsumsetzung des Dampfes und zusätzlich dem bei einer Entspannung des Dampfes auftretenden Rückdruck zusammensetzt. Daher sind innerhalb der Dampfturbine 51' mehrere Druckstufen ausgebildet, die ein niedriges Stufendruckgefälle aufweisen und somit eine günstige Strömungsgestaltung sowie einen guten dynamischen Wirkungsgrad erzielen.

Ferner ist in Figur 8b eine Abwandlung der in Figur 8a dargestellten Dampfturbine 51' in Form der Dampfturbine 51" dargestellt. Der Grundaufbau der Dampfturbine 51" entspricht im Wesentlichen demjenigen der Dampfturbine 51' und identische Elemente der Dampfturbine 51" im Vergleich zur Dampfturbine 51' tragen identische Bezugszeichen. Die Dampfturbine 51" unterscheidet sich im Wesentlichen von der Dampfturbine 51' durch eine geometrisch unterschiedliche Ausgestaltung der Schaufelräder 57a", 57b", 57c", der Umlenkräder 79a", 79b" und 79c" sowie der Trennwand 85". Die Schaufelräder 57a", 57b", 57c" unterscheiden sich jeweils durch unterschiedliche Durchmesser voneinander. Darüber hinaus unterscheidet sich die Geometrie der Schaufeln der Schaufelräder 57a", 57b", 57c" zur Ausbildung von Geschwindigkeits- bzw. Druckstufen innerhalb der Dampfturbine 51". Dementsprechend ist die Form der Trennwand 85" sowie die Form der zweiten Kammer 65" diesen unterschiedlichen Durchmessern angepasst. Darüber hinaus sind die Leitungen 75" und die Düsen 77" ebenfalls im Vergleich zur Dampfturbine 51' an die unterschiedliche Geometrie des Schaufelrads 57a" angepasst. Schließlich sind die Umlenkräder 79a", 79b" und 79c" derart ausgebildet, dass durch die von ihnen umfassten Schaufeln eine Führung des durch die Schaufelräder 57a", 57b", 57c" durchströmenden Arbeitsmediums 73" diagonal relativ zur Drehachse des Rotors 61" erzielt wird.

Die in den Figuren 1 bis 8b dargestellten Ausführungsformen einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine zeichnen sich gemeinsam dadurch aus, dass der Rotor im Wesentlichen vollständig die Dampferzeugungsvorrichtung in Form der Kammern 13, 13', 63, 63' und die Kondensationsvorrichtung in Form der Kammern 15, 15', 65, 65' umfasst. Anhand der Figuren 9 bis 11 werden nunmehr erfindungsgemäße Ausführungsformen einer Wärmekraftmaschine beschrieben, bei denen die Dampferzeugungsvorrichtung bzw. die Kondensationsvorrichtung im Wesentlichen vollständig bzw. teilweise von dem Stator umfasst sind. Auch diese Wärmekraftmaschinen weisen die Vorteile auf, dass Sie ein geringes Leistungsgewicht, eine hohe Effizienz, eine niedrige Schadstoff- und Lärmemission sowie einen einfachen, wartungsarmen und verschleißarmen Aufbau aufweisen. Insbesondere weisen auch diese als Außenläufer aufgebauten Wärmekraftmaschinen den Vorteil auf, dass die Zentrifugalkraft bewirkt, dass ein Fliehkraftverschluss zwischen dem Kondensator und dem Verdampfer realisiert wird, so dass auch auf zusätzliche Speisepumpen verzichtet werden kann.

In Figur 9 ist eine sechste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmekraftmaschine in Form einer Dampfturbine 101, oder besser Kompaktdampfturbine, mit integrierter Dampferzeugungszone dargestellt. Der Aufbau der Dampfturbine 101 ähnelt denjenigen der in den Figuren 5 und 6 dargestellten Dampfturbine 1". So umfasst die Dampfturbine 101 einen Stator 103, der wiederum eine feststehende Welle 105 umfasst. Im Gegensatz zu den in den Figuren 1 bis 8a dargestellten erfindungsgemäßen Ausführungsformen ist eine Stirnwand 107 der Dampfturbine 101 mit der Welle 105 verbunden, und bildet somit einen Teil des Stators 103. Über die Stirnwand 107 ist die Welle 105 ferner mit einem ersten Schaufelrad 109 und einem zweiten Schaufelrad 111 verbunden. Dagegen sind eine Umfangswand 113 und eine Stirnwand 115 drehbar relativ zum Stator 103 gelagert. Diese Wände 113, 115 bilden somit einen Rotor 117. Mit dem Rotor drehmitnahmesicher verbunden sind ferner Trennwände 119, 121 und 123. An der Trennwand 121 ist ferner ein Strömungsführungsrad 125 angeordnet. Dieses Strömungsführungsrad 125 ist über ein Lager 127 drehbar auf der Welle 105 gelagert. Jedoch ist eine Lagerung des Strömungsführungsrades 125 auf der Welle 105 nicht zwingend notwendig. Insbesondere kann eine ausreichende Lagerung des Rotors 117 über die Dichtungsvorrichtungen 133 erfolgen, so dass auf das Lager 127 verzichtet werden kann. Das Innere der Dampfturbine 101 wird mittels der, vorzugsweise thermisch isolierenden, Wand 121 in eine erste Kammer 129 und eine zweite Kammer 131 unterteilt. Dabei wirkt die Kammer 129 als Dampferzeugungskammer, während die Kammer 131 als Kondensationskammer dient. Eine Abdichtung der zweiten Kammer 131 erfolgt im Bereich des Übergangs der Stirnwand 107 zur Umfangswand 113 durch eine Dichtungsvorrichtung 133. Diese Dichtungsvorrichtung 133 kann in einer dem Fachmann allgemein bekannten Form ausgebildet sein. So kann die Dichtungsvorrichtung 133 insbesondere Dichtungselemente, wie in Form von O-Ringen und/oder ein Labyrinthsystem umfassen. Wichtig für die Funktionsweise der Dampfturbine 101 ist aber, dass die Dichtungsvorrichtung 133 eine Abdichtung der zweiten Kammer 131 sicherstellt und gleichzeitig eine Drehung des Rotors 117 relativ zum Stator 103 ermöglicht. Somit wird in der Dampfturbine 101 erreicht, dass die Dampferzeugungsvorrichtung in Form der Kammer 129 im Wesentlichen vollständig von dem Rotor 117 umfasst ist, während die Kondensationsvorrichtung in Form der zweiten Kammer 131 mit der Stirnwand 107 im Wesentlichen vollständig von dem Stator 103 umfasst ist.

Im Folgenden wird nunmehr die Funktionsweise der Dampfturbine 101 erläutert. Ähnlich zu den zuvor dargestellten Ausführungsformen treffen Verbrennungsgase 135 im Gegenstromprinzip auf die Stirnwand 115. Dies bewirkt ein Aufheizen der ersten Kammer 129 was dazu

führt, dass ein Arbeitsmedium 137 verdampft wird. Das Arbeitsmedium 137 tritt zwischen die Trennwände 121, 123 und durch die Düsen 139 in die zweite Kammer 131 ein. Dort trifft das verdampfte Arbeitsmedium auf das erste Schaufelrad 109, was zu einem Antrieb des Rotors 117 relativ zum Stator 103 führt. Nach Durchtritt durch das mit dem Stator 103 verbundene erste Schaufelrad 109 trifft das verdampfte Arbeitsmedium auf das mit dem Rotor 117 verbundene Strömungsführungsrad 125, wodurch der Rotor 117 weiter angetrieben wird. Nach dem Austritt aus dem Strömungsführungsrad 125 trifft das Arbeitsmedium schließlich zumindest teilweise auf das mit dem Stator 103 über die Stirnwand 107 verbundene zweite Schaufelrad 111. Um eine Kondensation des Arbeitsmediums im Bereich der zweiten Kammer 131 zu erzielen, strömt an der Kammer 131 abgewandten Seite der Stirnwand 107 Kühlluft 141 im Gegenstromprinzip entlang. Das auskondensierte Arbeitsmedium sammelt sich aufgrund der Rotationsbewegung des Rotors 117 im Bereich der Umfangswand 113, wobei im Bereich zwischen der Stirnwand 107 und der Trennwand 119 nicht dargestellte Mitnahmeelemente, vorzugsweise in Form von Schaufeln, angeordnet sind, die mit dem Rotor 117 mitdrehen, insbesondere an diesem angebracht sind. Diese Mitnahmeelemente sind jedoch nicht zwingend notwendig, erhöhen aber die Betriebssicherheit des Fliehkraftverschlusses durch das Arbeitsmedium 137. Daraufhin fließt das Arbeitsmedium 137 zwischen Umfangswand 113 und Trennwand 119 wieder in die erste Kammer 129 zurück. Das Arbeitsmedium 137 stellt auch in der Dampfturbine 101 sicher, dass ein Verschluss zwischen der ersten Kammer 129 und der zweiten Kammer 131 im Bereich der Trennwand 119 und der Umfangswand 113 erreicht wird, so dass das Arbeitsmedium 137 stets den Weg über die Düse 139 aus der ersten Kammer 129 in die zweite Kammer 131 gehen muss. Die Dampfturbine 101 bietet den Vorteil, dass die Stirnwand 107 keine Drehbewegung ausführt, wodurch es zu einer besonders laminaren Strömung der Kühlluft 141 entlang der Stirnwand 107 kommt. Somit wird der Wirkungsgrad der Kondensationsvorrichtung in Form der zweiten Kammer 131 und damit der Wirkungsgrad der Dampfturbine 101 erhöht. Des Weiteren erleichtert diese Konstruktion der Dampfturbine 101 die Zufuhr eines Kühlmediums in die Stirnwand 107. So kann vorgesehen sein, dass die Stirnwand 107 von nicht dargestellte Durchflusseinrichtungen in Form von Kanälen, durchsetzt ist. Diese Kanäle können insbesondere Teil eines geschlossenen Kühlkreislaufes sein, in dem ein Kühlfluid, wie Wasser, umgewälzt wird. Dadurch, dass die Stirnwand 107 mit der Welle 105 des Stators 103 verbunden ist, kann eine Zuführung dieses Kühlmediums durch einen an der Welle 105 angeordneten oder diesen durchsetzenden Kanal erfolgen. Durch diese weitere Kühlungsmöglichkeit kann der Wirkungsgrad der Dampfturbine 101 weiter erhöht werden.

In Figur 10 ist eine siebte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmeleistungsmaschine in Form einer Dampfturbine 101', oder besser Kompaktdampfturbine, mit integrierter Dampferzeugungzone dargestellt. Der Aufbau der Dampfturbine 101' entspricht im Wesentlichen demjenigen der Dampfturbine 101, die in Figur 9 dargestellt ist. Insbesondere kann die Dampfturbine 101' die in Bezug auf die Dampfturbine 101 beschriebenen Mitnahmeverrichtungen im Bereich der Trennwand 119 und der Stirnwand 107 aufweisen. Mit der Dampfturbine 101 identische Elemente der Dampfturbine 101' tragen die gleichen Bezugszeichen, während abweichende Elemente mit der gleichen Bezugsnummer aber einfach gestrichen bezeichnet sind. Der Aufbau der Dampfturbine 101' unterscheidet sich im Wesentlichen vom Aufbau der Dampfturbine 101 dadurch, dass sowohl die Kondensationsvorrichtung als auch die Dampferzeugungsvorrichtung im Wesentlichen vollständig von einem Stator 103' umfasst sind. Der Stator 103' umfasst eine Welle 105' die sowohl mit der Stirnwand 107 als auch mit einer Stirnwand 115' verbunden ist. Somit wird die Stirnwand 115' nicht vom Rotor 117' umfasst. Der Rotor 117' umfasst im Wesentlichen die Umfangswand 113', die mit den Trennwänden 119, 121, 123 verbunden ist. An der Trennwand 123 ist ferner das Strömungsführungsrad 125 angebracht. Zur Abdichtung der ersten Kammer 129', die als Dampferzeugungsvorrichtung dient, ist die Umfangswand 113' über Dichtungsvorrichtung 143' mit der Stirnwand 115' verbunden. Durch diesen konstruktiven Aufbau der Dampfturbine 101' wird erreicht, dass neben der Stirnwand 107 auch die Stirnwand 115' im Betrieb der Dampfturbine 101' ortsfest bleibt. Dadurch wird der Wirkungsgrad der Dampferzeugungsvorrichtung 129' erhöht, da die der Stirnwand 115' zugeführten Verbrennungsgase 135 nicht verwirbelt werden. Somit wird ein besserer Wärmeaustausch mit der ersten Kammer 129' erzielt und somit der Wirkungsgrad der gesamten Dampfturbine 101' weiter erhöht. Eine weitere Erhöhung des Wirkungsgrades der Dampfturbine 101' kann dadurch erzielt werden, dass die Stirnwand 115' eine weitere Durchflusseinrichtung in Form von Kanälen umfasst, durch die ein, vorzugsweise über die Welle 105' zugeführtes, Heizmedium umgewälzt wird. In analoger Weise können Durchflusseinrichtungen in Form von Kanälen in der Stirnwand 107, wie zuvor an Hand der Dampfturbine 101 beschrieben, vorgesehen sein.

Schließlich ist in Figur 11 eine achte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Wärmeleistungsmaschine in Form einer Dampfturbine 101'' dargestellt. Der Aufbau der Dampfturbine 101'' ist vergleichbar mit demjenigen der in Figur 10 dargestellten Dampfturbine 101'. Identische Elemente der Dampfturbine 101'' tragen die gleichen Bezugszeichen, wie die Elemente

der Dampfturbine 101', während die unterschiedlichen Elemente die gleichen Bezugszahlen, allerdings zweigestrichen, tragen. Die beiden Dampfturbine 101' und 101" unterscheiden sich im Wesentlichen dadurch voneinander, dass die Stirnwände 107" und 115" im Wesentlichen zweigeteilt ausgeführt sind. So besteht die Stirnwand 107" aus den Teilen 107a" und 107b". Dabei ist der Stirnwandteil 107b" mit der Welle 105" verbunden, während der Stirnwandteil 107a" mit der Umfangswand 113" verbunden ist. Dies bietet den Vorteil, dass die Dichtungsvorrichtungen 133" nicht im Bereich des Arbeitsmediums 137 angeordnet sind, und somit eine leichtere Abdichtung erzielt werden kann. In analoger Weise ist die Stirnwand 115" zweiteilig ausgebildet in Form des ersten Stirnwandteils 115a" und des zweiten Stirnwandteils 115b". Das Stirnwandteil 115a" ist mit der Umfangswand 113" verbunden während das Stirnwandteil 115b" mit der Welle 105" verbunden ist. Aufgrund dieses Aufbaus sind sowohl die erste Kammer 129", mit der Stirnwand 115", die als Dampferzeugungsvorrichtung dient, als auch die zweite Kammer 131" mit der Stirnwand 107", die als Kondensationsvorrichtung dient, sowohl teilweise von dem Rotor 117" als auch dem Stator 103" umfasst.

In weiteren, nicht dargestellten Ausführungsformen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das aus der ersten Kammer austretende, verdampfte Arbeitsmedium zunächst unter Zwischen schaltung eines mit dem Rotor in Wirkverbindung stehenden Strömungsführungsrades auf das bzw. die Schaufelräder trifft. Insbesondere bei Verwendung eines einzelnen Schaufelrades kann vorgesehen sein, dass zur Ausnutzung der dem verdampften Arbeitsmedium innenwohnenden Energie diesem Schaufelrad ein mit dem Rotor in Wirkverbindung stehendes, insbesondere als Laufrad wirkendes Strömungsführungsrad nachgeschaltet ist. Darüber hinaus ist die Anordnung des Umlenkrades, des Strömungsführungsrades und/oder des Schaufelrades nicht auf eine axiale relative Anordnung zueinander beschränkt. Um eine hohe Kompaktheit der Wärmekraftmaschine der Erfindung zu realisieren, ist insbesondere vorgesehen, dass diese Räder zumindest bereichsweise radial relativ zueinander angeordnet sind.

In weiteren, nicht dargestellten Ausführungsformen der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Wärmekraftmaschine in Form von Gegendruck- bzw. Entnahmeturbinen ausgeführt wird, bei denen den Dampfturbinen durch zusätzliche Entnahmeverrichtungen in den Dampferzeugungskammern erzeugter Dampf entnommen werden kann.

Auch ist der Einsatz der erfundungsgemäßen Wärmekraftmaschine in Form einer Vorschalt- bzw. Abdampfturbine durchführbar, indem der Wärmekraftmaschine extern, neben dem in-

nerhalb der Wärmekraftmaschine erzeugten Dampf, zusätzlicher Dampf zugeführt werden kann.

Bezüglich der zuvor angeführten beispielhaften Ausführungsformen der Erfindung ist zu beachten dass, wie insbesondere anhand der in den Figuren 3 und 4 dargestellten Dampfturbine 1' zu erkennen ist, das Arbeitsmedium innerhalb der Wärmekraftmaschine einen Strömungsverlauf aufweisen kann, der an die jeweiligen Erfordernisse der Wärmekraftmaschine angepasst ist. So ist es insbesondere möglich, dass das Arbeitsmedium abschnittsweise in axialer, radialer oder auch Querrichtung strömen kann, insbesondere sowohl in radialer Richtung zu einer Achse der Wärmekraftmaschine hin, als auch von dieser fort. Die Erfindung ist also insbesondere nicht auf die exemplarisch dargestellten Strömungswege des Arbeitsmediums beschränkt.

Die in der vorstehenden Beschreibung, in den Zeichnungen sowie in den Ansprüchen offensichtlichen Merkmale der Erfindung können sowohl einzeln als auch in jeder beliebigen Kombination für die Verwirklichung der Erfindung in ihren verschiedenen Ausführungsformen wesentlich sein.

Bezugszeichenliste

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| 1, 1', 1" | Dampfturbine |
| 3, 3', 3" | Stator |
| 5, 5', 5" | Welle |
| 6" | Verbindungsglied |
| 7, 7', 7" | Schaufelrad |
| 8" | Strömungsführungsrad |
| 9, 9' | Lager |
| 10, 10' | Dichtung |
| 11, 11', 11" | Rotor |
| 11a, 11c, 11a', 11c', 11a'', 11c'' | Stirnwand |
| 11b, 11b', 11b" | Umfangswand |
| 13, 13' | Kammer |
| 14' | Strömungsführungskörper |
| 15, 15' | Kammer |
| 16' | Strömungsführungskörper |
| 17, 17', 17" | Wand |
| 18" | Verbindungsglied |
| 19 | Öffnung |
| 20' | Kanal |
| 21, 21' | Arbeitsmedium |
| 23 | Trennwand |
| 24' | Trennwand |
| 25, 25' | Turbinenkammer |
| 27, 27', 27" | Düse |
| 28', 28" | Schaufel |
| 29, 29' | Verbrennungsgas |
| 30" | Schaufel |
| 31, 31' | Kühlluft |
| 51, 51', 51" | Dampfturbine |
| 53, 53', 53" | Stator |
| 55, 55' | Welle |

| | |
|---|----------------------|
| 57a, 57b, 57a', 57b', 57c', 57a", 57b", 57c" | Schaufelrad |
| 59, 59' | Lager |
| 60, 60' | Dichtung |
| 61, 61', 61" | Rotor |
| 61a, 61c, 61a', 61c' | Stirnwand |
| 61b, 61b' | Umfangswand |
| 63, 63' | Kammer |
| 65, 65', 65" | Kammer |
| 67, 67' | Ausgleichskammer |
| 69, 69' | Wand |
| 71, 71' | Verbrennungsgas |
| 73, 73' | Arbeitsmedium |
| 75, 75', 75" | Leitung |
| 77, 77', 77" | Düse |
| 79a, 79b, 79a', 79b', 79c', 79a", 79b", 79c" | Umlenkrad |
| 81, 81' | Kühlluft |
| 83, 83' | Kanal |
| 85, 85', 85" | Trennwand |
| 101, 101', 101" | Dampfturbine |
| 103, 103', 103" | Stator |
| 105, 105', 105" | Welle |
| 107, 107" | Stirnwand |
| 107a", 107b" | Stirnwandteil |
| 109 | Schaufelrad |
| 111 | Schaufelrad |
| 113, 113', 113" | Umfangswand |
| 115, 115', 115" | Stirnwand |
| 115a", 115b" | Stirnwandteil |
| 117, 117', 117" | Rotor |
| 119, 121, 123 | Trennwand |
| 125 | Strömungsführungsrad |
| 127, 127' | Lager |

| | |
|------------------|------------------|
| 129, 129', 129'' | Kammer |
| 131, 131', 131'' | Kammer |
| 133, 133'' | Dichtung |
| 135 | Verbrennungsgas |
| 137 | Arbeitsmedium |
| 139 | Düse |
| 141 | Kühlluft |
| 143', 143'' | Dichtungselement |

Ansprüche

1. Wärmekraftmaschine (1, 1', 1'', 51, 51', 51'') zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie, umfassend zumindest eine Dampferzeugungsvorrichtung (11a, 11a', 11a'', 13, 13', 61a, 61a', 63, 63') zum zumindest teilweisen Verdampfen eines ersten flüssigen Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73') mittels der Wärmekraftmaschine (1, 1', 1'', 51, 51', 51'') zugeführter thermischer Energie, zumindest einen mittels des verdampften ersten Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73') zur Erzeugung von mechanischer Energie antreibbaren und relativ zu zumindest einem Stator (3, 3', 3'', 53, 53', 53'') um eine erste Drehachse drehbaren Rotor (11, 11', 11'', 61, 61', 61'') und zumindest eine Kondensationsvorrichtung (11c, 11c', 11c'', 15, 15', 61c, 61c', 65, 65', 65'') zur Kondensation des verdampften ersten Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73') nach Antreiben des Rotors (11, 11', 11'', 61, 61', 61''), wobei der Rotor (11, 11', 11'', 61, 61', 61'') den Stator (3, 3', 53, 53', 53'') im Wesentlichen vollständig umgibt, und der Rotor (11, 11', 11'', 61, 61', 61'') die Dampferzeugungsvorrichtung (11a, 11a', 11a'', 13, 13', 61a, 61a', 63, 63'') und die Kondensationsvorrichtung (11c, 11c', 11c'', 15, 15', 61c, 61c', 65, 65', 65'') im Wesentlichen vollständig umfasst.
2. Wärmekraftmaschine (1, 1', 1'', 51, 51', 51'', 101, 101', 101'') zur Umwandlung von thermischer Energie in mechanische Energie, umfassend zumindest eine Dampferzeugungsvorrichtung (11a, 11a', 11a'', 13, 13', 61a, 61a', 63, 63', 115, 115', 115'') zum zumindest teilweisen Verdampfen eines ersten flüssigen Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73', 137) mittels der Wärmekraftmaschine (1, 1', 1'', 51, 51', 51'', 101, 101', 101'') zugeführter thermischer Energie, zumindest einen mittels des verdampften ersten Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73', 137) zur Erzeugung von mechanischer Energie antreibbaren und relativ zu zumindest einem Stator (3, 3', 3'', 53, 53', 53''), 103, 103', 103'') um eine erste Drehachse drehbaren Rotor (11, 11', 11'', 61, 61', 61'', 117, 117', 117'') und zumindest eine Kondensationsvorrichtung (11c, 11c', 11c'', 15, 15', 61c, 61c', 65, 65', 65'', 107, 107', 107'') zur Kondensation des verdampften ersten Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73', 137) nach Antreiben des Rotors (11, 11', 11'', 61, 61', 61'', 117, 117', 117''), wobei der Rotor (11, 11', 11'', 61, 61', 61'', 117, 117', 117'') den Stator (3, 3', 53, 53', 53''), 103, 103', 103'') zumindest bereichsweise umgibt.

3. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Rotor (11, 11', 11'', 61, 61', 61'', 117) die Dampferzeugungsvorrichtung (11a, 11a', 11a'', 13, 13', 61a, 61a', 63, 63', 115) und/oder die Kondensationsvorrichtung (11c, 11c', 11c'', 15, 15', 61c, 61c', 65, 65', 65'') im Wesentlichen vollständig umfasst.
4. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (103, 103'') die Dampferzeugungsvorrichtung(115) und/oder die Kondensationsvorrichtung(107, 107') im Wesentlichen vollständig umfasst.
5. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Dampferzeugungsvorrichtung(115'') und/oder die Kondensationsvorrichtung(107'') zumindest zweigeteilt ausgebildet ist bzw. sind und der Rotor (117'') einen ersten Teil der Kondensationsvorrichtung (107a'') und/oder einen ersten Teil der Dampferzeugungsvorrichtung(115a'') umfasst und der Stator(103'') den anderen Teil der Dampferzeugungsvorrichtung (115b'') und/oder der Kondensationsvorrichtung(107b'') umfasst.
6. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch zumindest eine die Dampferzeugungsvorrichtung bildende erste Kammer (13, 13', 63, 63', 129, 129', 129''), zumindest eine die Kondensationsvorrichtung bildende zweite Kammer (15, 15', 65, 65', 65'', 131, 131', 131'') und zumindest eine Turbinenkammer (25), wobei vorzugsweise die erste Kammer (13, 13', 63, 63', 129, 129', 129'') und die zweite Kammer (15, 15', 65, 65', 65'', 131, 131', 131''), die erste Kammer (13, 13') und die Turbinenkammer (25, 25') und/oder die zweite Kammer und die Turbinenkammer zumindest bereichsweise mittels zumindest einer, insbesondere thermisch isolierenden, Wand (17, 17', 17'', 23, 24', 69, 69', 85, 85',85'', 121) voneinander abgetrennt sind.
7. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch zumindest eine die erste Kammer (13, 13', 63, 63') und die Turbinenkammer (25, 25') zum Durchtritt des verdampften ersten Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73') verbindende erste Verbindungsvorrichtung, vorzugsweise umfassend zumindest eine erste Düse (27, 27', 27'', 77, 77', 77'', 139), wobei vorzugsweise die Geometrie und/oder die Ausrichtung der Düsenöffnung einstellbar ist, zumindest ein erstes Rohr (75, 75', 75'')

und/oder zumindest eine insbesondere in der thermisch isolierenden Wand ausgebildete, erste Öffnung.

8. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 6 oder 7, gekennzeichnet durch zumindest eine die Turbinenkammer und die zweite Kammer zum Durchtritt des verdampften ersten Arbeitsmediums verbindende zweite Verbindungsvorrichtung, vorzugsweise umfassend zumindest eine zweite Düse, wobei vorzugsweise die Geometrie und/oder die Ausrichtung der Düsenöffnung einstellbar ist, zumindest ein zweites Rohr und/oder zumindest eine, insbesondere in der thermisch isolierenden Wand ausgebildete, zweite Öffnung.
9. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 7 oder 8, gekennzeichnet durch zumindest eine mit der ersten Verbindungsvorrichtung in Wirkverbindung stehende erste und/oder zumindest eine mit der zweiten Verbindungsvorrichtung in Wirkverbindung stehende zweite Durchflussteuer- und/oder Regeleinrichtung, vorzugsweise in Form eines ersten und/oder zweiten Ventils.
10. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 6 bis 9, gekennzeichnet durch zumindest eine die erste Kammer (13, 13') und die Turbinenkammer (25, 25') zum Durchtritt des flüssigen ersten Arbeitsmediums (21, 21') verbindende dritte Verbindungsvorrichtung, insbesondere in Form zumindest einer, vorzugsweise in der thermisch isolierenden Wand (17, 17') ausgebildeten, dritten Öffnung (19, 20').
11. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 6 bis 10, gekennzeichnet durch zumindest eine die Turbinenkammer und die zweite Kammer zum Durchtritt des flüssigen ersten Arbeitsmediums verbindende vierte Verbindungsvorrichtung, vorzugsweise in Form zumindest einer, insbesondere in der thermisch isolierenden Wand ausgebildeten, vierten Öffnung.
12. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass das flüssige erste Arbeitsmedium (21, 21', 73, 73') während einer Drehung des Rotors (11, 11', 11'', 61, 61', 61'', 117, 117', 117''), insbesondere aufgrund der auf das Arbeitsmedium (21, 21', 73, 73', 137) wirkenden Fliehkraft, einen Austritt des verdampften ersten Arbeitsmediums (21, 21', 73, 73') aus der ersten Kammer (13, 13', 63, 63',

129, 129', 129'') durch die dritte und/oder vierte Verbindungs vorrichtung verhindert, insbesondere die dritte und/oder vierte Öffnung (19, 20') blockiert.

13. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 12, gekennzeichnet durch zumindest eine mit der dritten Verbindungs vorrichtung in Wirkverbindung stehende dritte und/oder zumindest eine mit der vierten Verbindungs vorrichtung in Wirkverbindung stehende vierte Durchflussteuer- und/oder Regeleinrichtung, vorzugsweise in Form eines dritten und/oder vierten Ventils, insbesondere eines Rückschlagventils.
14. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 6 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Kammer (15, 15') und die Turbinenkammer (25, 25') in einem ausgeformt sind.
15. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 6 bis 14, gekennzeichnet durch zumindest einen in der ersten Kammer (13'), der zweiten Kammer (15') und/oder der Turbinenkammer (25') ausgebildeten Strömungsführungskörper (14', 16').
16. Wärmekraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest ein von dem Stator (3, 3', 3'', 53, 53', 53'', 103, 103', 103'') umfasstes, erstes Schaufelrad (7, 7', 7'', 57a, 57a', 57a'', 109), dem, vorzugsweise über die erste Verbindungs vorrichtung (27, 27', 27'', 75, 75', 75'', 77, 77', 77'', 139), zum Drehen des Rotors (11, 11', 11'', 61, 61', 61'', 117, 117', 117'') relativ zu dem Stator (3, 3', 3'', 53, 53', 53'', 103, 103', 103'') das verdampfte erste Arbeitsmedium (21, 21', 73, 73', 137) zuführbar ist, insbesondere axial, radial und/oder unter einem vorbestimmten Winkel relativ zu der ersten Drehachse.
17. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 16, gekennzeichnet durch zumindest ein mit dem Rotor (11'', 117, 117', 117'') in Wirkverbindung stehendes, insbesondere mit diesem drehmitnahmesicher verbindbares, und stromaufwärts und/oder stromabwärts des verdampften Arbeitsmediums (21', 137) relativ zum ersten Schaufelrad (7'', 109) angeordnetes Strömungsführungsrad (8'', 125), wobei das Strömungsführungsrad (8'', 125) vorzugsweise zumindest bereichsweise konzentrisch zum ersten

Schaufelrad (7", 109) angeordnet ist, insbesondere innerhalb und/oder außerhalb des ersten Schaufelrades (7", 109).

18. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 16 oder 17, gekennzeichnet durch zumindest ein von dem Stator (53, 53', 53", 103, 103', 103") umfasstes, insbesondere stromabwärts des verdampften Arbeitsmediums relativ zum Strömungsführungsgrad angeordnetes, zweites Schaufelrad (57b, 57b', 57c', 57b", 57c", 111), wobei vorzugsweise stromaufwärts und/oder stromabwärts des verdampften Arbeitsmediums (73, 73') relativ zu dem zweiten Schaufelrad (57b, 57b', 57b", 57c', 57c") zumindest ein mit dem Rotor (61, 61', 61") in Wirkverbindung stehendes, insbesondere mit diesem drehmitnahmesicher verbindbares, Umlenkrad (79a, 79b, 79a', 79b', 79c', 79a", 79b", 79c") angeordnet ist, wobei insbesondere das Umlenkrad zumindest bereichsweise konzentrisch zum ersten und/oder zweiten Schaufelrad angeordnet ist, insbesondere innerhalb und/oder außerhalb des ersten und/oder zweiten Schaufelrades.
19. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Schaufelrad (7, 7', 57a, 57a', 57a"), das Strömungsführungsrad, das zweite Schaufelrad (57b, 57b', 57c', 57b", 57c") und/oder das Umlenkrad (79a, 79b, 79a', 79b', 79c', 79a", 79b", 79c") zumindest teilweise in der Turbinenkammer (25, 25') angeordnet ist bzw. sind.
20. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Schaufelrad einen von einem ersten Durchmesser des ersten Schaufelrades abweichenden zweiten Durchmesser und/oder eine von der Anzahl bzw. der Geometrie der Schaufeln des ersten Schaufelrades abweichende Anzahl bzw. Geometrie der Schaufeln aufweist.
21. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 18 bis 20, gekennzeichnet durch eine Vielzahl von zweiten Schaufelrädern (57b', 57c', 57b", 57c") und/oder Umlenkrädern (79a, 79b, 79a', 79b', 79c', 79a", 79b", 79c"), wobei die zweiten Schaufelräder (57b', 57c') vorzugsweise unterschiedliche Durchmesser, unterschiedliche Geometrien und/oder eine unterschiedliche Anzahl von Schaufeln zueinander aufweisen und/oder die Umlenkräder (79a', 79b', 79c') unterschiedliche Durchmesser, unterschiedliche

Geometrien und/oder eine unterschiedliche Anzahl von Schaufeln zueinander aufweisen.

22. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 16 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Geometrie und/oder die Stellung zumindest einer Schaufel des ersten Schaufelrades, zumindest eines zweiten Schaufelrades, des Strömungsführungsrades und/oder zumindest eines Umlenkrades, vorzugsweise während eines Betriebs der Wärmekraftmaschine, einstellbar ist bzw. sind.
23. Wärmekraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest ein Heizmittel zur Beaufschlagung der Dampferzeugungsvorrichtung (11a, 11a', 11a'', 13, 13', 61a, 61a', 63, 63', 115, 115', 115'', 129, 129', 129'') insbesondere der ersten Kammer (13, 13', 63, 63', 129, 129', 129''), mit Wärme, vorzugsweise in Form eines fluiden Heizmediums, insbesondere in Form von heißen Gasen, wie Verbrennungsgasen (29, 29', 71, 71', 135), einer Heizquelle, wie in Form zumindest einer Heizspindel, die in einer, insbesondere ein Material hoher Wärmeleitfähigkeit umfassenden und/oder für einen hohen konvektiven Wärmetransport strukturierten, Wand der ersten Kammer integriert und/oder auf der Oberfläche dieser Wand ausgebildet ist, zumindest einer ersten Durchflusseinrichtung für ein Heizfluid (29, 29', 71, 71', 135), zumindest einer auf einer Außenseite der Wand (11a, 11a', 11a'', 61a, 61a', 115, 115', 115'') der ersten Kammer (13, 13', 63, 63', 129, 129', 129'') ausgebildeten, insbesondere von dem Heizfluid (29, 29', 71, 71', 135) durchströmbaren, ersten Struktur und/oder zumindest einer auf einer Innenseite der Wand (11a, 11a', 11a'', 61a, 61a', 115, 115', 115'') der ersten Kammer (13, 13', 63, 63', 129, 129', 129'') ausgebildeten, insbesondere von dem, vorzugsweise verdampften Arbeitsmedium (21, 21', 73, 73', 137) durchströmbaren, zweiten Struktur.
24. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Durchflusseinrichtung in die Wand integriert ist, wobei das Heizmittel der ersten Durchflusseinrichtung vorzugsweise über eine Welle des Stators zugeführt wird und/oder dass Heizmittel insbesondere in einem die erste Durchflusseinrichtung umfassenden, vorzugsweise geschlossenen, Heizkreislauf umgewälzt wird.

25. Wärmekraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch
zumindest ein Kühlmittel zur Beaufschlagung der Kondensationsvorrichtung (11c, 11c', 11c'', 15, 15', 61c, 61c', 65, 65', 65'', 107, 107', 107'', 131, 131', 131''), insbesondere der zweiten Kammer (15, 15', 65, 65', 65'', 131, 131', 131''), mit Kälte, vorzugsweise in Form eines fluiden Kühlmediums, insbesondere in Form von Stickstoff oder Kaltluft (31, 31', 81, 81', 141), einer Kühlquelle, wie in Form zumindest eines Peltierelements, die insbesondere in einer, vorzugsweise ein Material hoher Wärmeleitfähigkeit umfassenden und/oder für einen hohen konvektiven Wärmetransport strukturierten, Wand der zweiten Kammer integriert und/oder auf der Oberfläche dieser Wand ausgebildet ist, zumindest einer zweiten Durchflusseinrichtung für ein Kühlfluid (31, 31', 81, 81', 141), wie Stickstoff oder Kaltluft, zumindest einer auf einer Außenseite der Wand (11c, 11c', 11c'', 61c, 61c'm 107, 107', 107'') der zweiten Kammer (15, 15', 65, 65', 65'', 131, 131', 131'') ausgebildeten, insbesondere von dem Kühlfluid (31, 31', 81, 81', 141) durchströmbaren, dritten Struktur und/oder zumindest einer auf einer Innenseite der Wand (11c, 11c', 11c'', 61c, 61c', 107, 107', 107'') der zweiten Kammer (15, 15', 65, 65', 65'', 131, 131', 131'') ausgebildeten, insbesondere von dem Arbeitsmedium (21, 21', 137) durchströmbaren vierten Struktur.

26. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Durchflusseinrichtung in die Wand integriert ist, wobei das Kühlmittel der zweiten Durchflusseinrichtung vorzugsweise über eine Welle des Stators zugeführt wird und/oder das Kühlmittel insbesondere in einem die zweite Durchflusseinrichtung umfassenden, vorzugsweise geschlossenen, Kühlkreislauf umgewälzt wird.

27. Wärmekraftmaschine nach einem der Ansprüche 23 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass das Heizfluid (29, 29', 71, 71') im Bereich des Heizmittels eine Strömungsrichtung aufweist, die im Wesentlichen von der ersten Drehachse radial nach außen zum Außenumfang des Rotors (11, 11', 11'', 61, 61', 61'') verläuft, und/oder das Kühlfluid (31, 31', 81, 81') im Bereich des Kühlmittels eine Strömungsrichtung aufweist, die im Wesentlichen radial vom Außenumfang des Rotors (11, 11', 11'', 61, 61') in Richtung der ersten Drehachse verläuft.

28. Wärmekraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest eine Zufuhreinrichtung zur Zuführung zumindest eines dampfförmigen zweiten Arbeitsmediums, wobei vorzugsweise das erste und zweite verdampfte Arbeitsmedium identisch sind.
29. Wärmekraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest eine Abnahmeverrichtung zur Abführung zumindest eines Teils des verdampften und/oder flüssigen ersten Arbeitsmediums.
30. Wärmekraftmaschine nach Anspruch 28 oder 29, gekennzeichnet durch zumindest eine mit der Zufuhreinrichtung in Wirkverbindung stehende fünfte Durchflusssteuer- und/oder Regeleinrichtung und/oder zumindest eine mit der Abnahmeverrichtung in Wirkverbindung stehende sechste Durchflusssteuer- und/oder Regeleinrichtung.
31. Wärmekraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest eine mit der Dampferzeugungsvorrichtung, der Kondensationseinrichtung, der ersten und/oder zweiten Düse der ersten, zweiten, dritten, vierten, fünften und/oder sechsten Durchflusssteuer- und/oder Regeleinrichtung, dem ersten Schaufelrad, zumindest einem zweiten Schaufelrad, dem Strömungsführungsrad und/oder zumindest einem Umlenkrad, dem Heizmittel, dem Kühlmittel und/oder einem Sensor zur Messung der Drehgeschwindigkeit des Rotors in Wirkverbindung stehende Steuer- und/oder Regeleinheit.
32. Verwendung einer Wärmekraftmaschine nach einem der vorangehenden Ansprüche als Vorschaltturbinen, Abdampfturbine, Gegendruckturbine, Entnahmeturbine, Gleichdruckturbine und/oder Überdruckturbine.

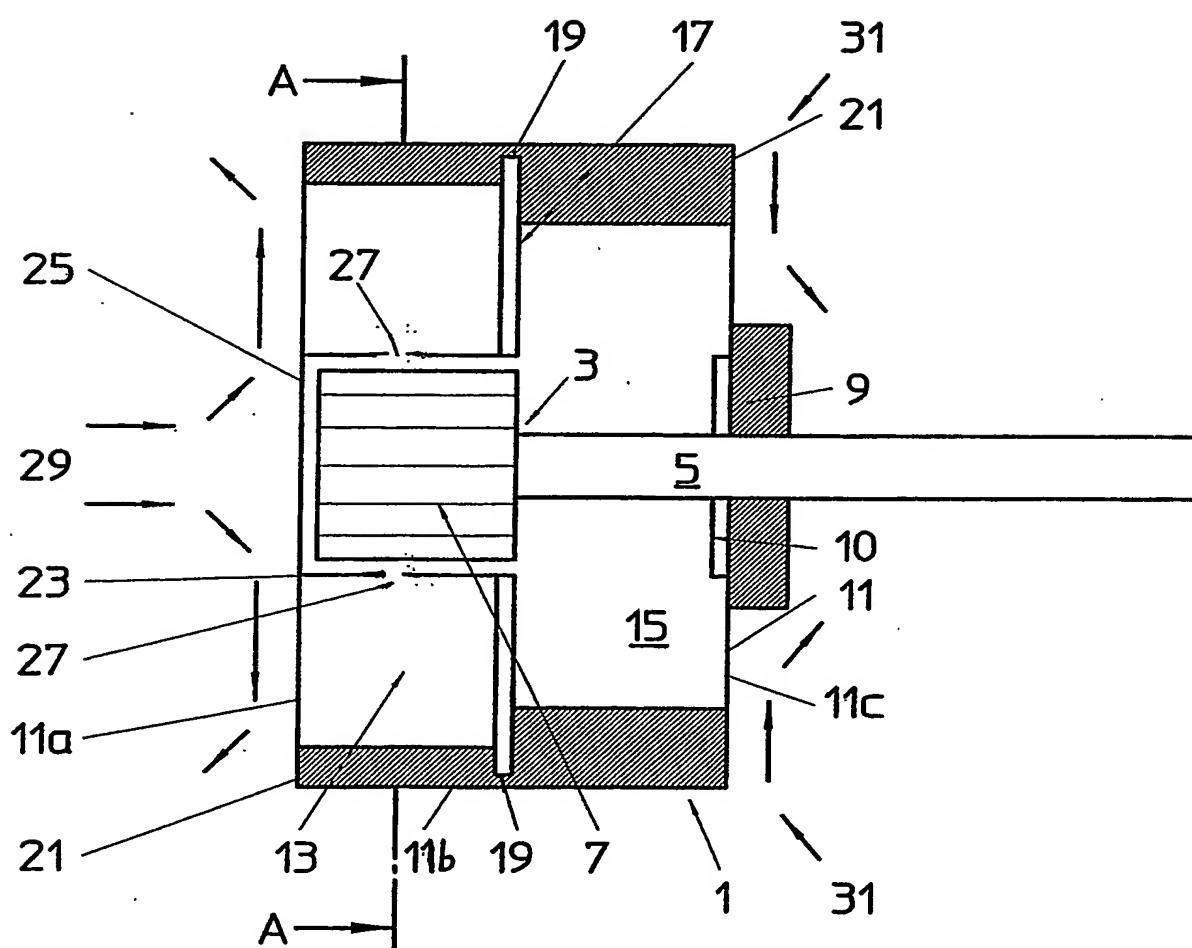


Fig. 1

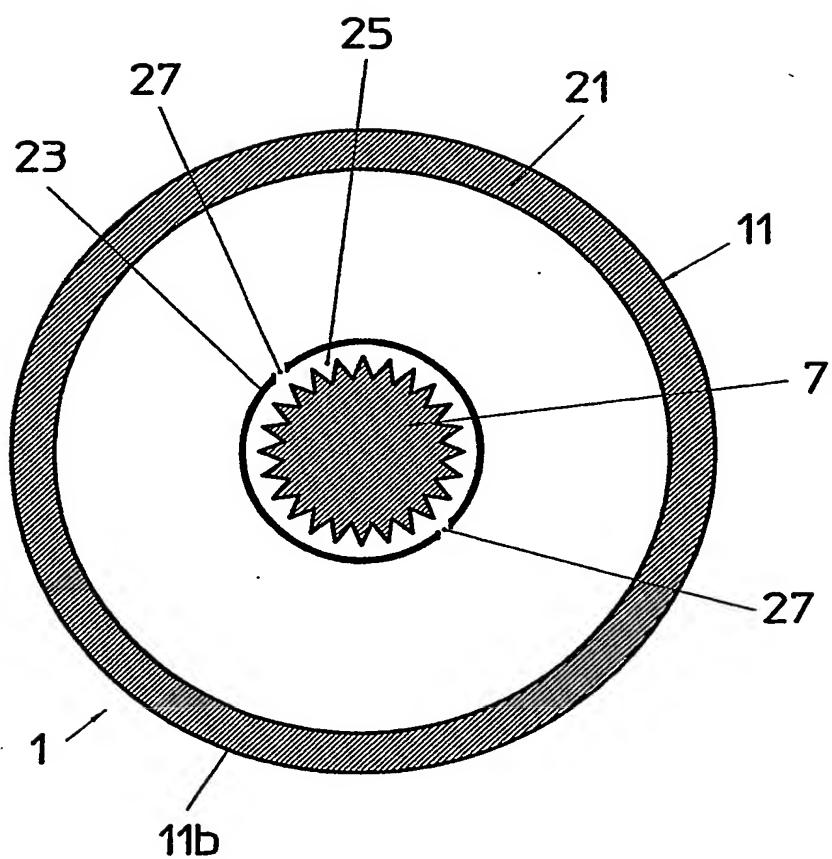


Fig. 2

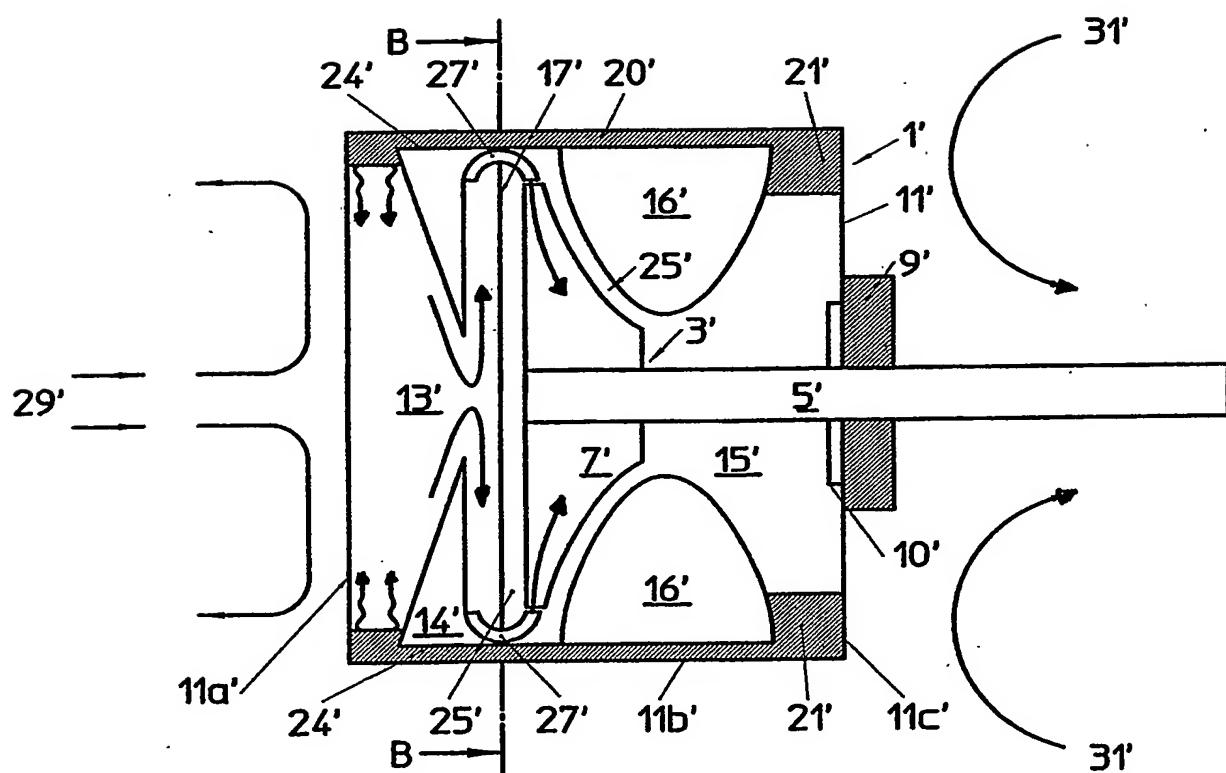


Fig. 3

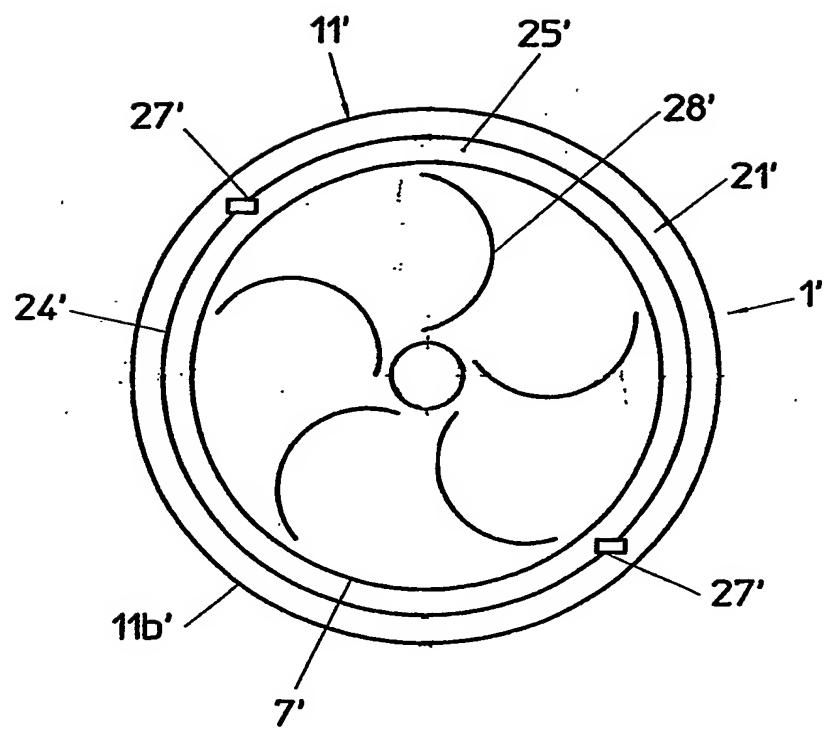
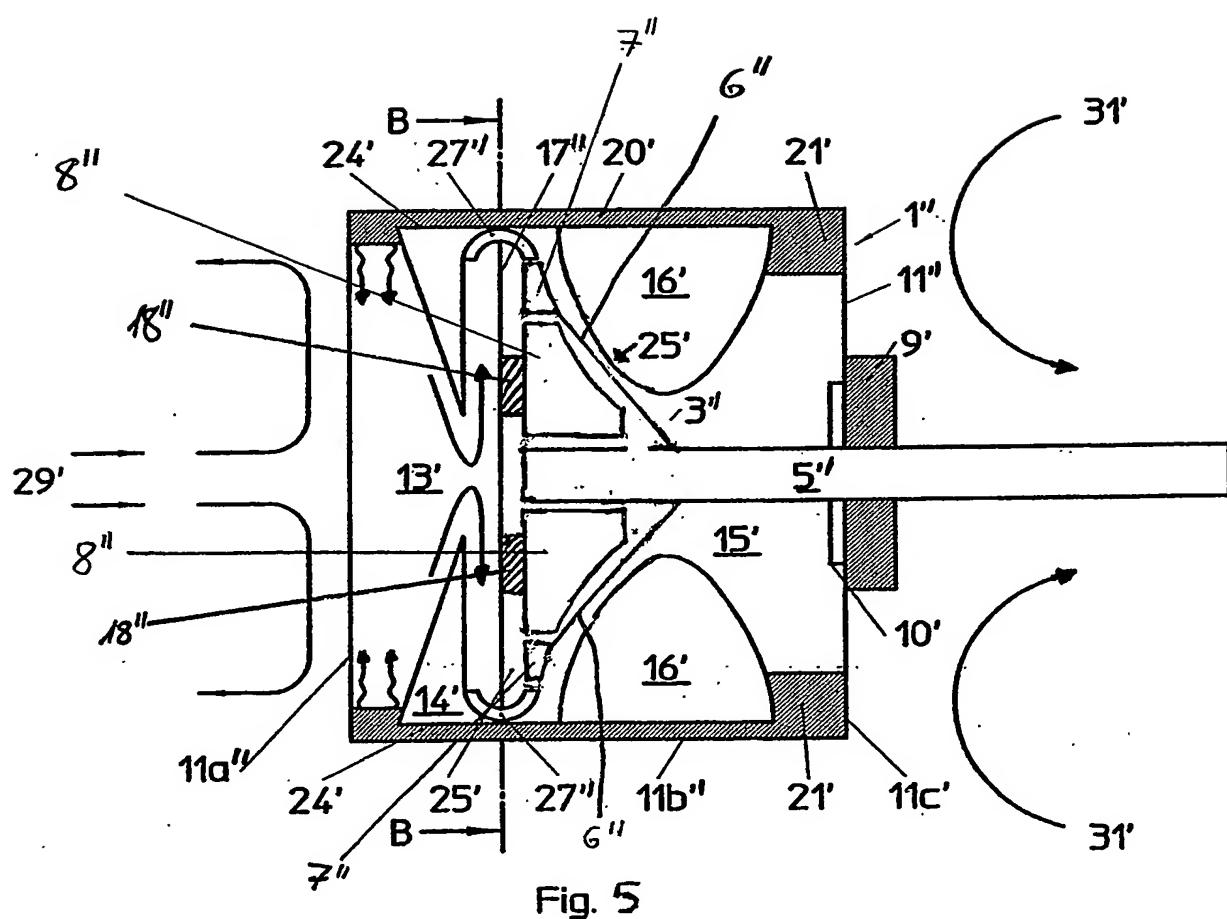


Fig. 4



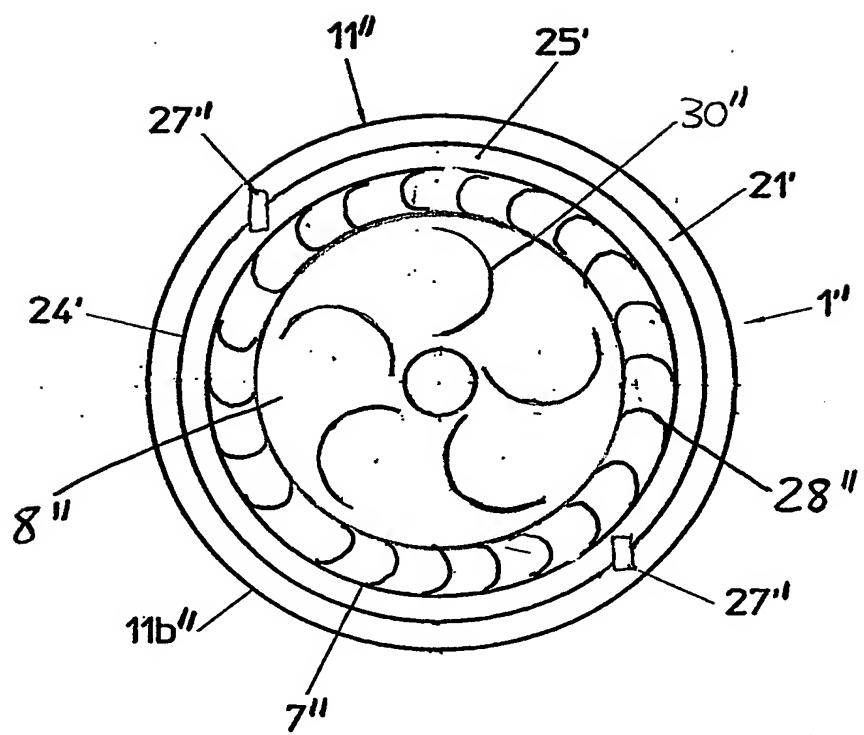


Fig. 6

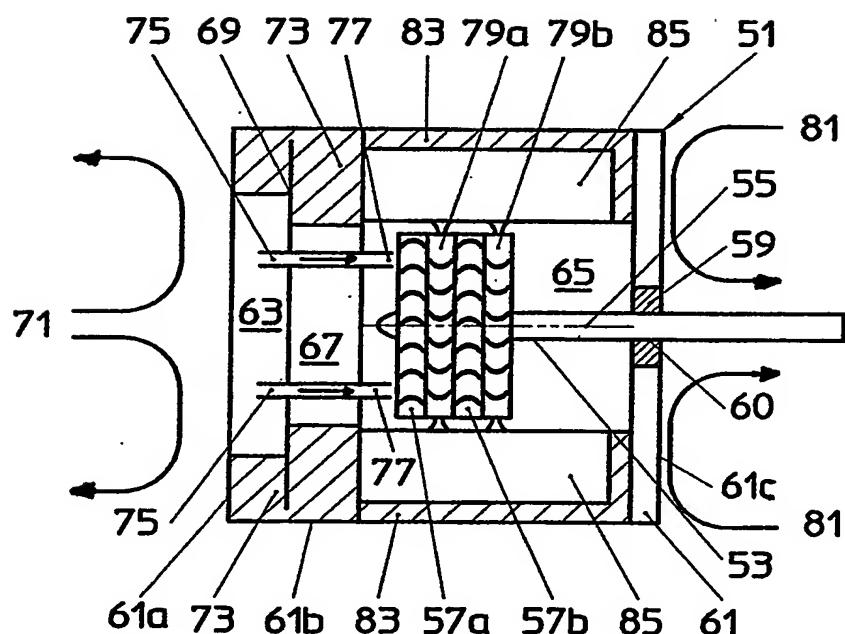


Fig. 7

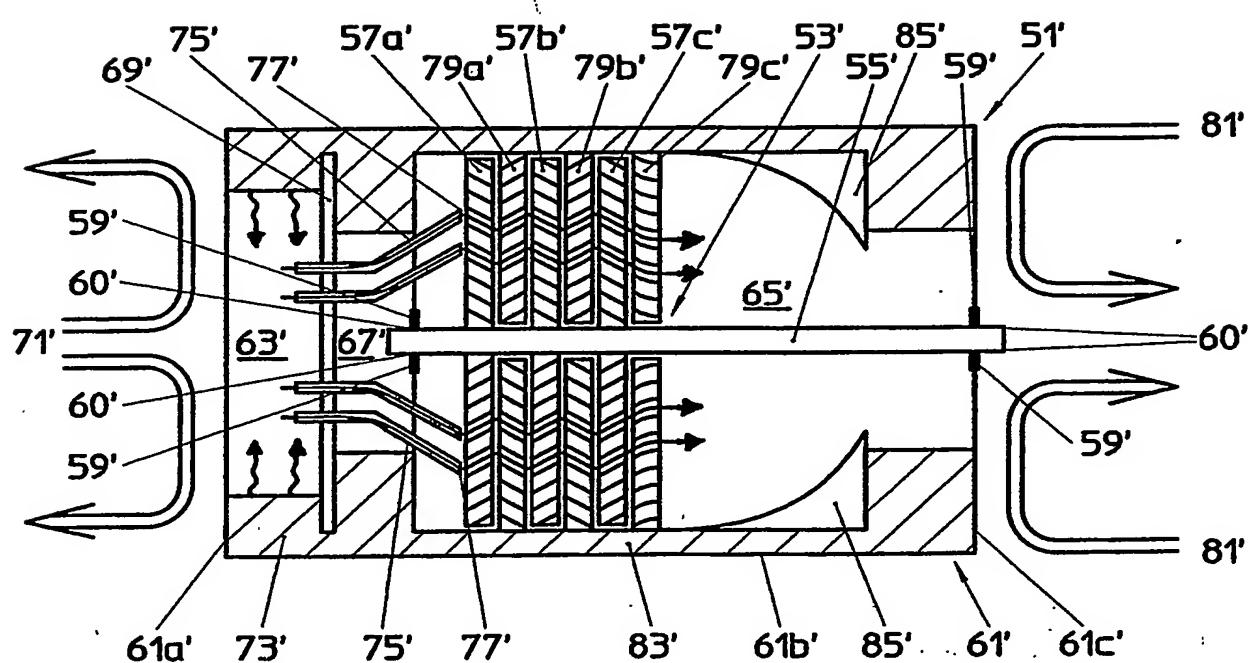


Fig. 8d

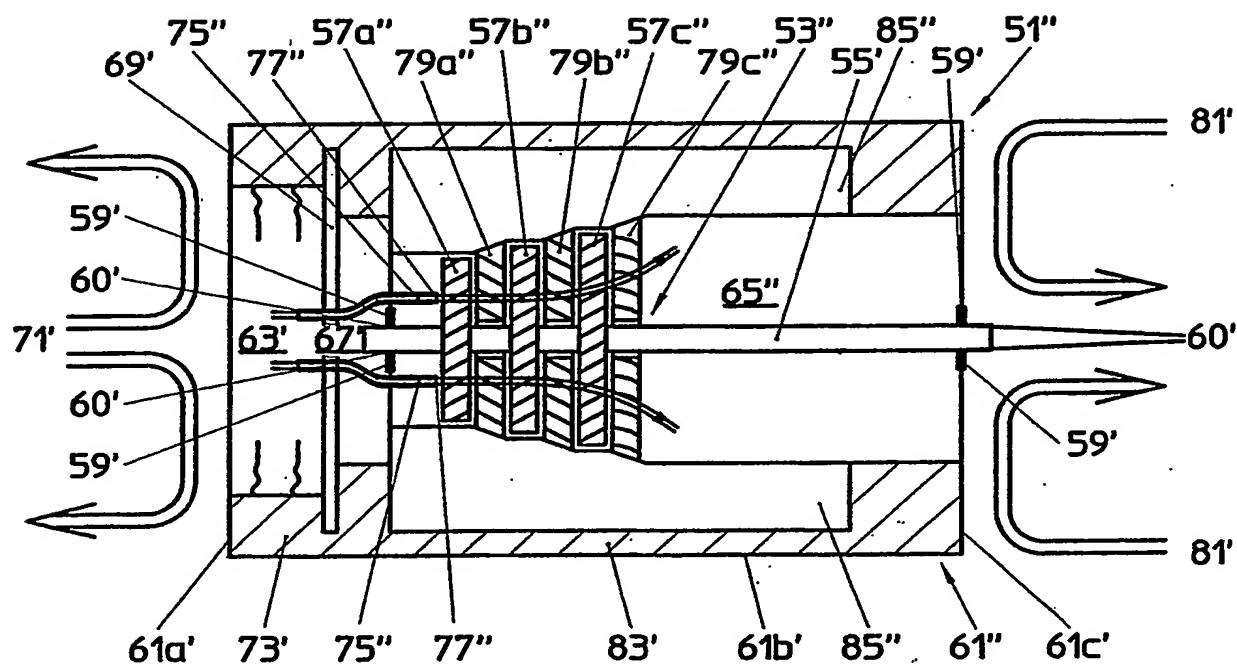


Fig. 8b

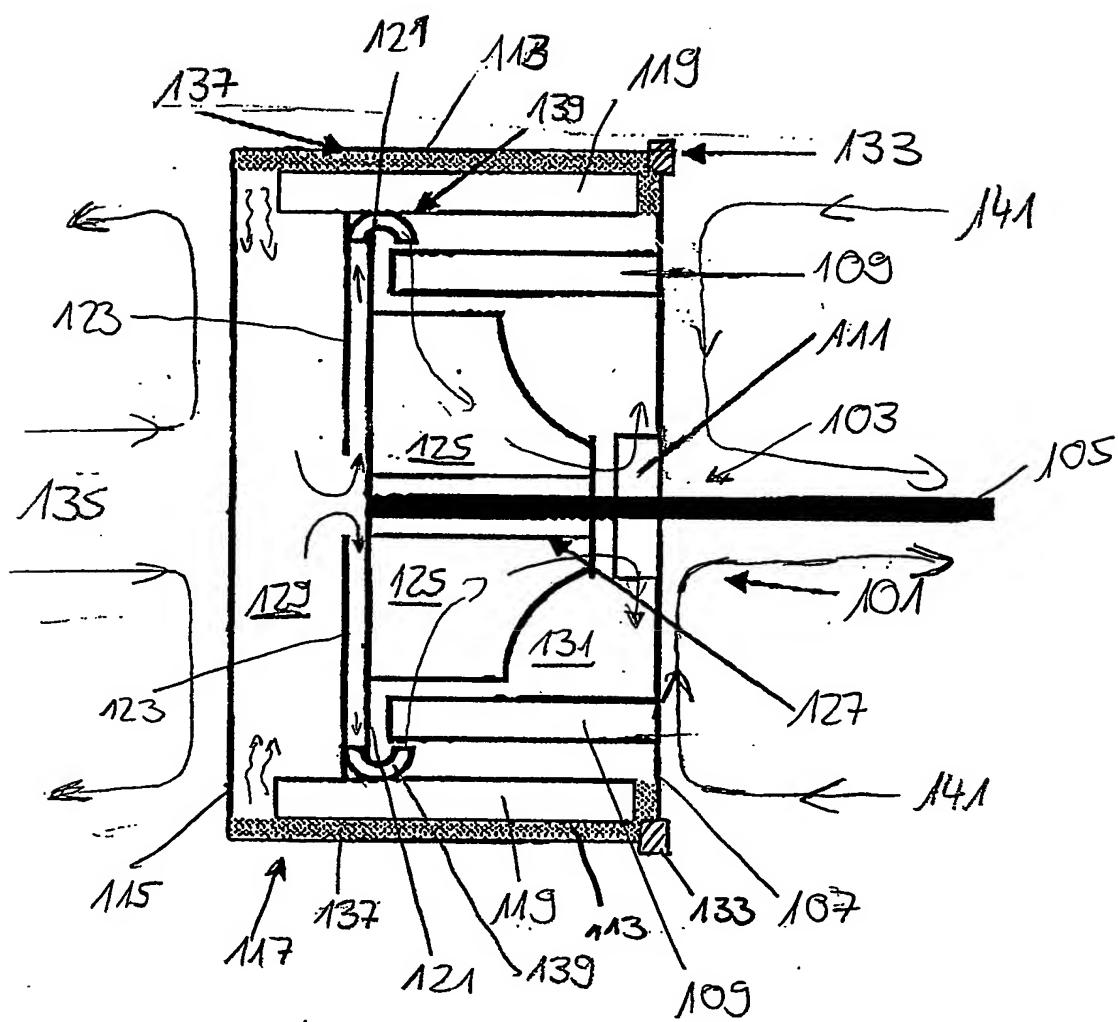


Fig. 9

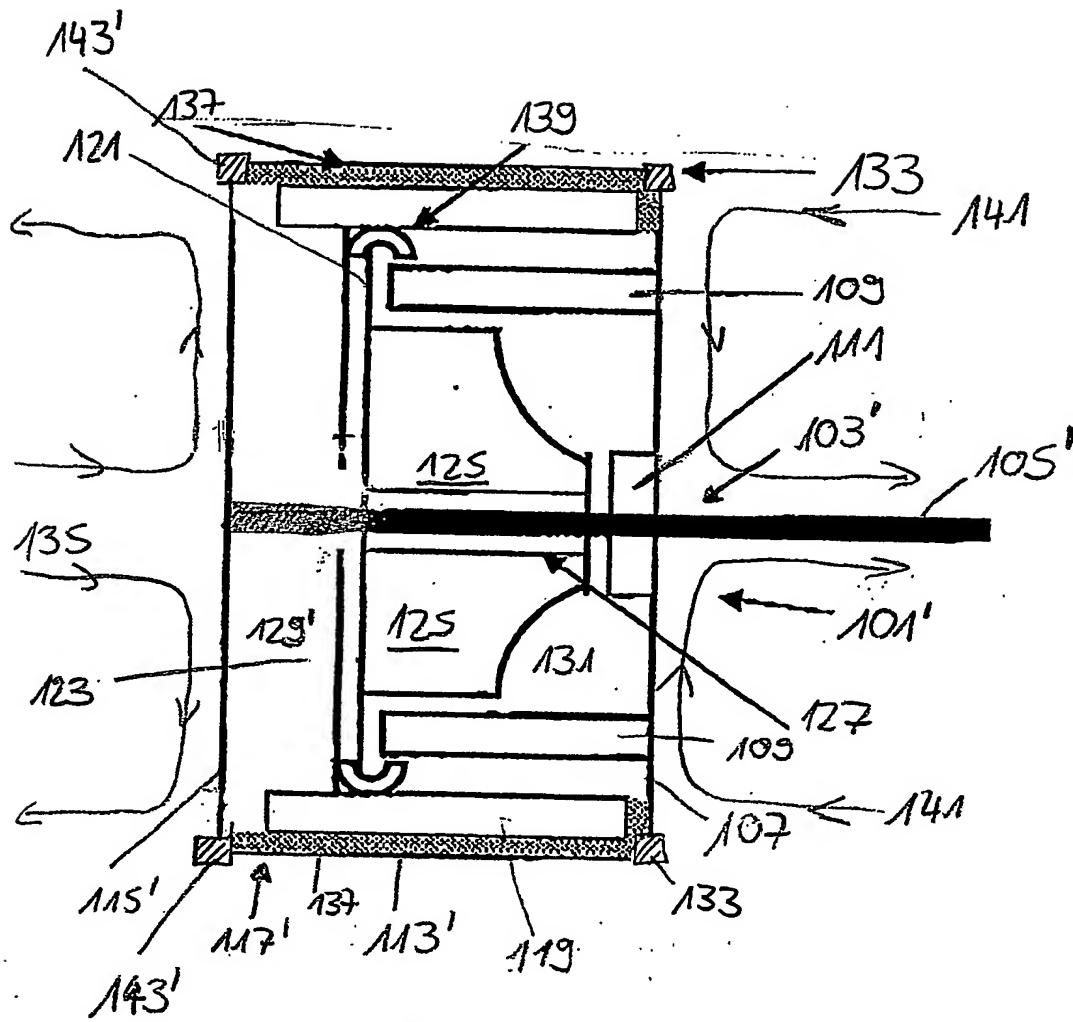


Fig 10

